

**SIMULASI PENGARUH VARIASI JENIS GAS TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* PADA *BUNSEN BURNER***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EFRIDA ISBANDRIYAH

NIM. 145060201111017

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 17 Juli 2018

Mahasiswa



Efrida Isbandriyah

NIM. 145060201111017



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 105/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

EFRIDA ISBANDRIYAH

Dengan Judul Skripsi :

**SIMULASI PENGARUH VARIASI JENIS GAS TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API
PREMIX PADA BUNSEN BURNER**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **17 JUL 2018**



Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PENGARUH VARIASI JENIS GAS TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* PADA *BUNSEN BURNER*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EFRIDA ISBANDRIYAH

NIM. 145060201111017

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I



Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
NIP 19710321 199802 1 001

Dosen Pembimbing II



Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.
NIP 201103 820919 2 001

**Mengetahui,
Ketua Program Studi S1**



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

**SIMULASI PENGARUH VARIASI JENIS GAS TERHADAP KARAKTERISTIK
NYALA API PREMIX PADA *BUNSEN BURNER***

Nama Mahasiswa : Efrida Isbandriyah
NIM : 145060201111017
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING:

Dosen Pembimbing I : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
Dosen Penguji II : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
Dosen Penguji III : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 4 Juli 2018
SK Penguji : 1335/UN10.F07/SK/2018



*Teriring ucapan terima kasihku kepada :
Kakek, Nenek dan Bapak yang Senantiasa
mendo'akanku,*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia serta hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Simulasi Pengaruh Variasi Jenis Gas terhadap Karakteristik Nyala Api Premix pada Bunsen Burner**”. Skripsi ini ditulis sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah penulis laksanakan serta laporan skripsi ini diajukan untuk sebagai persyaratan kelulusan sarjana jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam menyelesaikan proses penelitian ini penulis menyadari bahwa ada bantuan, bimbingan dari berbagai pihak, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 sekaligus dosen wali yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan arahan demi kesempurnaan penulisan skripsi.
5. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan arahan demi kesempurnaan penulisan skripsi.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staff Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang mendukung selama penyusunan skripsi.
7. Orang tuaku tercinta, Ibu Suparni (almh) dan Ayah Sali serta Nenek Muslimah dan Kakek Sukar yang tiada henti mendoakan, mendidik, dan menjadi motivasi bagi penulis.
8. Saudaraku tercinta adikku Muhammad Hanif Nashrullah yang senantiasa menjadi motivasi bagi penulis.
9. Pipit Runnita, Saut Julison, dan Gregorius Dewangga selaku teman-teman seperjuangan yang membantu dalam pengerjaan skripsi ini.

10. Seluruh teman-teman Studio Tugas Besar Elemen Mesin, terima kasih atas dukungan dan do'a yang telah diberikan.
11. Kos "Ibu Sueb" khususnya maike dan lusi yang telah memberikan semangat, do'a, serta kebersamaan dalam pengerjaan skripsi ini.
12. Keluarga Besar "M14" terimakasih untuk dukungan dan kebersamaan "Tekad ini satukan kami sampe mati tak belani".
13. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini. Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca dan menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, 17 Juli 2018

Penulis

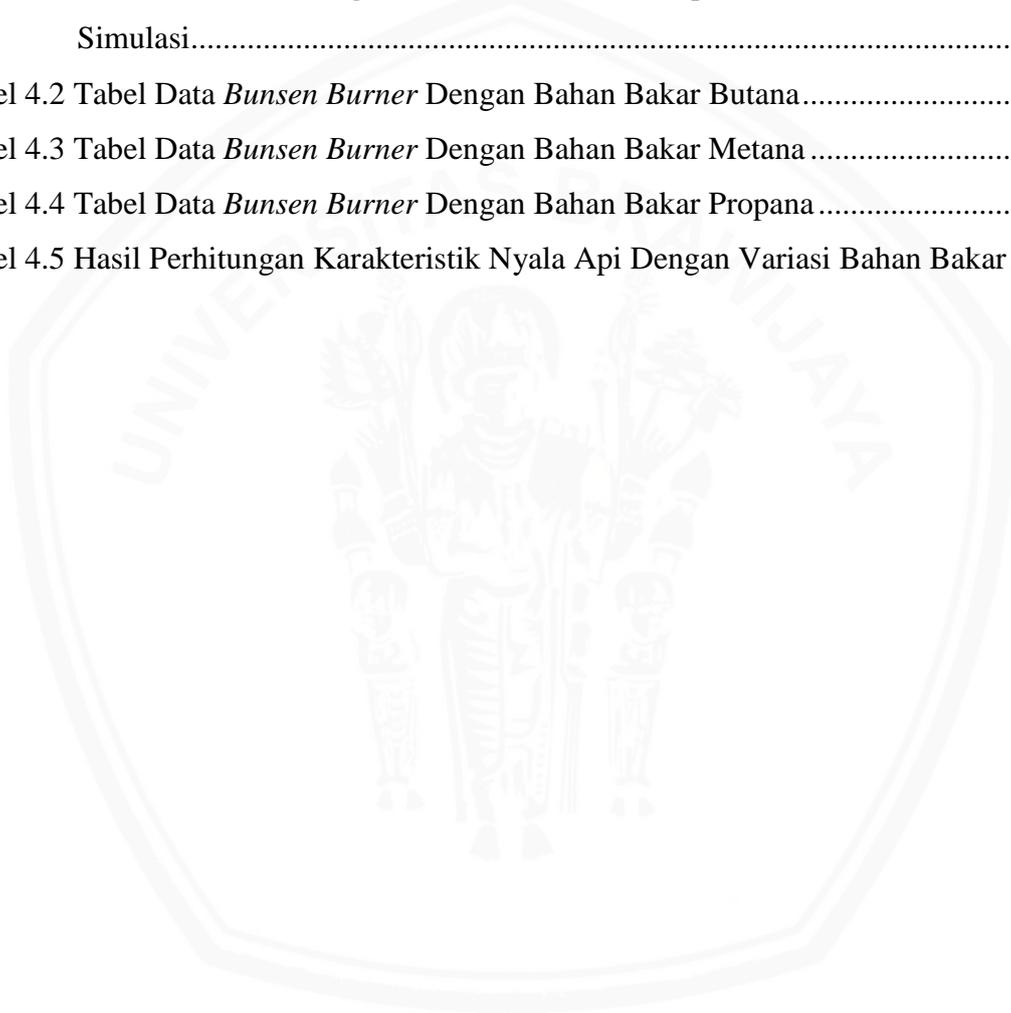
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Metana	3
2.3 Propana	4
2.4 Butana	4
2.5 Pembakaran	5
2.6 Reaksi Pembakaran	5
2.7 Klasifikasi Pembakaran	6
2.8 <i>Bunsen Burnner</i>	7
2.9 <i>Api Premixed Laminer</i>	8
2.9.1 Kecepatan Api Laminer	8
2.4.2 Struktur Api Laminer	9
2.10 Stabilitas Nyala	9
2.11 Rasio Udara dan Bahan Bakar	10
2.12 Bilangan Reynolds	10
2.13 <i>Equivalence Ratio</i>	11
2.14 Simulasi	11
2.15 Metode Elemen Hingga	13
2.16 <i>Software</i> Berbasis MEH	13

2.17 CFD (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	14
2.18 Pemodelan Pembakaran pada CFD	16
2.19 <i>Kondisi Batas Pemodelan Pembakaran dalam Computational Fluid Dynamic</i>	18
2.20 Hipotesis	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Prosedur Penelitian	18
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Visualisasi Nyala Api	29
4.2 Verifikasi Penelitian	30
4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api	31
4.3.1 Pengolahan Data Visual	31
4.3.2 Pengolahan Data Numerik	32
4.4 Grafik dan Pembahasan.....	33
4.4.1 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Kecepatan Api Laminer .	33
4.4.2 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Tinggi Api Laminer	34
4.4.3 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api Laminer	35
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	halaman
Tabel 2.1	Properti Metana pada Kondisi Standar	4
Tabel 2.2	Properti Propana pada Kondisi Standar	4
Tabel 2.3	Properti Butana pada Kondisi Standar	4
Tabel 2.4	Komposisi udara kering	5
Tabel 2.5	Massa molar unsur	10
Tabel 4.1	Verifikasi Perbandingan Hasil Penelitian Eksperimental dan Hasil Penelitian Simulasi	31
Tabel 4.2	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> Dengan Bahan Bakar Butana	32
Tabel 4.3	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> Dengan Bahan Bakar Metana	32
Tabel 4.4	Tabel Data <i>Bunsen Burner</i> Dengan Bahan Bakar Propana	32
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Dengan Variasi Bahan Bakar	33



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	halaman
Gambar 2.1	Ilustrasi proses pembakaran.....	5
Gambar 2.2	Cara reaktan terbakar (a), Pembakaran <i>premixed</i> (b), Pembakaran difusi	6
Gambar 2.3	Api laminar dan api turbulen	7
Gambar 2.4	Pembakaran bahan bakar	7
Gambar 2.5	Struktur api <i>premixed</i>	8
Gambar 2.6	Detail struktur dalam api laminar	9
Gambar 2.7	(a) <i>Flashback</i> , (b) Stabil, (c) <i>Liftoff</i> , (d) <i>Lifted</i> , (e) <i>Blowoff</i>	9
Gambar 2.8	(a) Pembagian <i>control volume</i> 1 dimensi, (b) Panjang <i>control volume</i>	15
Gambar 2.9	Kondisi batas pemodelan	18
Gambar 2.10	Diagram alir metode SIMPLE	21
Gambar 3.1	Menu <i>fluid flow fluent</i>	24
Gambar 3.2	Pemodelan geometri	24
Gambar 3.3	Pengaturan <i>meshing</i>	25
Gambar 3.4	Hasil <i>meshing</i>	25
Gambar 3.5	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	Hasil nyala api dengan bahan bakar butana dengan variasi ekuivalen rasio ...	29
Gambar 4.2	Hasil nyala api dengan bahan bakar metana dengan variasi ekuivalen rasio ..	29
Gambar 4.3	Hasil nyala api dengan bahan bakar propana dengan variasi ekuivalen rasio.	29
Gambar 4.4	Perbandingan visualisasi nyala api, tinggi api, dan sudut yang dihasilkan pada ekuivalen rasio 1 pada bahan bakar metana	30
Gambar 4.5	Pengolahan data bahan bakar butana dengan ekuivalen rasio 0.8.....	33
Gambar 4.6	<i>Grafik</i> Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Kecepatan Api Laminar.....	33
Gambar 4.7	<i>Grafik</i> Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Tinggi Api Laminar.....	34
Gambar 4.8	Distribusi temperatur pada bahan bakar metana dengan ekuivalen rasio 1	35
Gambar 4.9	Distribusi temperatur pada bahan bakar propana dengan ekuivalen rasio 1 ...	36
Gambar 4.10	Distribusi temperatur pada bahan bakar butana dengan ekuivalen rasio 1	36
Gambar 4.11	<i>Grafik</i> Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api Laminar	37

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Langkah – langkah Simulasi
- Lampiran 2 Gambar Data Visual Api
- Lampiran 3 Data Visual Sudut dan Tinggi Api



RINGKASAN

Efrida Isbandriyah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Simulasi Pengaruh Variasi Jenis Gas terhadap Karakteristik Nyala Api pada Bunsen Burner*, Dosen Pembimbing: Agung Sugeng Widodo dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

Bunsen Burner merupakan alat pembakaran yang menghasilkan nyala api *premix*. Bahan bakar yang digunakan merupakan bahan bakar gas seperti metana, butana, dan propana. Belum banyak yang meneliti tentang karakteristik nyala api yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jenis gas yang digunakan sebagai bahan bakar mulai dari metana, butana, dan propana yang nantinya akan dilihat bagaimana karakteristik nyala api yang muncul apakah lebih baik atau tidak. Ada beberapa parameter yang perlu diasumsikan agar penelitian berjalan lancar antara lain fraksi mol dari metana, butana, dan propana sesuai stokiometri, kecepatan bahan bakar 0,8 m/s, tekanan udara 1 atm, dan temperatur udara 300 K.

Metodologi penelitian yang dilakukan antara lain memodelkan *Bunsen Burner* dengan membuat geometri *bunsen burner* dengan panjang 50 mm, dengan diameter dalam 10 mm dan tebal dinding 2 mm. simulasi menggunakan material aluminium. Simulasi memvariasikan jenis gas pembakaran dengan nilai ekuivalen rasio (0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4 ; 1,6) Selanjutnya dilakukan optimasi meshing dan penentuan kondisi batas.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka kecepatan api laminer akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio lebih dari satu. Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka tinggi api laminer akan semakin naik dan turun pada nilai ekuivalen rasio melebihi satu. Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka temperatur api laminer akan semakin naik dan turun pada nilai ekuivalen rasio melebihi satu. Nilai kecepatan api, tinggi api, dan temperatur api tertinggi untuk semua variasi jenis gas berada pada ekuivalen rasio 1 atau dalam keadaan stokiometri. Nilai kecepatan api, tinggi api, dan temperatur api tertinggi untuk variasi jenis gas berada pada gas propana.

Kata kunci: api *premix*, *bunsen burner*, butane, metana, propana

SUMMARY

Efrida Isbandriyah, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2018, Simulation of the Influence of Gas Types on the Premixed Flame Characteristic on Bunsen Burner, Academic Supervisor: Agung Sugeng Widodo and Francisca Gayuh Utami Dewi.

Bunsen Burner is a combustion tool that produces a premix flame. The fuel used is a gas fuel such as methane, butane, and propane. Not many have examined the characteristics of the resulting flame. This research is conducted by varying the type of gas used as fuel from methane, butane, and propane which will be seen how the characteristics of the flame that appear whether better or not. There are several parameters that need to be assumed for the research to run smoothly, among others, the mole fraction of methane, butane, and propane according to stoichiometry, fuel speed 0.8 m / s, air pressure 1 atm, and air temperature 300 K.

The research methodologies include modeling Bunsen Burner by making bunsen burner geometry of 50 mm length, with 10 mm inner diameter and 2 mm wall thickness. simulation using aluminum material. The simulation varies the type of combustion gas with equivalent value ratio (0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.6) Furthermore, meshing optimization and determination of boundary conditions are applied.

The simulation results show that the greater the equivalent ratio then the laminar fire speed will increase and fall on the equivalent ratio of more than one. The greater the equivalent ratio than the high of laminar flame will increase and fall on the equivalent ratio more than one. The greater the equivalent ratio then the laminar flame temperature will increase and fall on the equivalent ratio more than one. The values of flame velocity, flame height, and the highest flame temperature for all variations of gas types are at the equivalent of ratio 1 or in a stoichiometric state. The values of flame velocity, flame height, and the highest flame temperature for variations of gas types are in propane gas.

Keywords: bunsen burner, Butane, methane, premix flame., propane

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, proses pembakaran merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan. Dalam kehidupan sehari-hari pembakaran khususnya bahan bakar fosil digunakan dalam berbagai aspek kehidupan seperti memasak, kendaraan, maupun dalam bidang industri. Ketersediaan bahan bakar fosil tentunya kian menipis oleh karena itu diperlukan suatu penggantian bahan bakar fosil ke bahan bakar alternatif seperti gas. Salah satunya adalah metana, butana, propana, dan LPG. Penelitian tentang pembakaran dilakukan sebagai bentuk upaya untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna dengan variasi gas tersebut.

Menurut Wardana (2008), pembakaran adalah reaksi antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Suatu pembakaran akan berlangsung jika terdapat bahan bakar, pengoksidasi dan panas atau energi aktivasi. Panas atau energi aktivasi digunakan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Selain itu diperlukan suatu perancangan sistem pembakaran agar terjadi suatu pembakaran yang sempurna salah satunya menggunakan *bunsen burner*. *Bunsen Burner* adalah sebuah alat pembakaran yang menghasilkan nyala api premix.

Ada beberapa penelitian sebelumnya yang membahas mengenai *bunsen burner*. Muhaya, et al. (2015) dengan judul Pembakaran *Premixed* Minyak Nabati pada *Bunsen Burner* Tipe Silinder. Hasil penelitian diperoleh semakin kaya udara maka pola api yang terlihat semakin mengecil hingga *blow off*. Hal ini terjadi karena semakin kaya udara menyebabkan bahan bakar memiliki udara yang berlebih sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang dekat dengan permukaan ujung nosel *bunsen burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek hingga terjadi *blow off* atau padam. Meski sering digunakan, *bunsen burner* belum memiliki standar yang tetap sehingga mempengaruhi hasil penelitian yang dirasa kurang akurat. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada karakteristik nyala api yang dihasilkan. Karena karakteristik nyala api yang dihasilkan berbeda-beda maka akan membuat pengujian menjadi lebih sulit.

Dengan variasi jenis gas maka karakteristik nyala api *premix* yang dihasilkan akan berbeda-beda karena setiap bahan bakar atau gas memiliki karakteristik ikatan penyusun

yang berbeda juga. Oleh karena itu pada penelitian kali ini dilakukan simulasi pengaruh variasi jenis gas terhadap karakteristik nyala api *premix* pada *bunsen burner*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas maka rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi jenis gas terhadap karakteristik nyala api *premix* pada *bunsen burner*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak meluas maka digunakan batasan masalah sebagai berikut.

1. Campuran bahan bakar dan udara dianggap homogen
2. Komposisi metana dianggap 100% metana murni
3. Komposisi propana dianggap 100% propana murni
4. Komposisi butana dianggap 100% butana murni
5. Tekanan udara pada 1 atm
6. Suhu ruangan dianggap $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jenis gas terhadap karakteristik nyala api *premix* pada *bunsen burner*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mengurangi kesalahan jika dilakukan suatu penelitian eksperimental sehingga dapat meminimalkan biaya
2. Dapat mengaplikasikan teori-teori yang telah didapat khususnya pada mata kuliah Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya khususnya dalam bidang pembakaran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Muhaya (2015) telah melakukan sebuah penelitian mengenai pembakaran *premixed* minyak nabati menggunakan *bunsen burner* dengan bervariasi jenis minyak nabati yaitu minyak kelapa murni, jarak pagar, dan biji kapuk. Didapatkan bahwa semakin kaya udara maka pola api yang terlihat semakin mengecil hingga *blow off*. Hal ini terjadi karena semakin kaya udara menyebabkan bahan bakar memiliki udara yang berlebih sehingga bahan bakar (*fuel*) yang terbakar secara difusi semakin berkurang dan menyebabkan pembakaran yang dekat dengan permukaan ujung nosel *bunsen burner* sehingga tinggi api yang terbentuk semakin pendek hingga terjadi *blow off* atau padam.

Harianto (2015) melakukan sebuah penelitian mengenai penambahan gas HHO pada gas LPG terhadap karakteristik nyala api yang dihasilkan dengan bervariasi campuran gas HHO pada gas LPG. Pada hasil penelitiannya diperoleh hasil bahwa percampuran gas HHO sebesar 50% akan mengakibatkan panjang nyala api pada *bunsen burner* berkurang sebesar 14% dan lebar nyala api bertambah sebesar 25%.

Pranoto (2012) telah melakukan sebuah penelitian mengenai pengaruh air fuel ratio (AFR) terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak kapuk pada *burner*. Dari hasil penelitiannya diperoleh bahwa jenis ikatan atom penyusun suatu bahan bakar berdampak pada homogenitas api yang membentuk api separasi.

Wicaksono (2017) telah melakukan sebuah penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Celah *Slot Burner* terhadap Karakteristik Nyala Api Hasil Pembakaran Premix Metana”. Pada hasil penelitiannya diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai *equivalence ratio*, maka kecepatan api laminer (S_L) dan temperatur api semakin meningkat.

2.2 Metana

Metana adalah suatu hidrokarbon sederhana yang terdiri dari ikatan 1 atom C dan 4 atom hidrogen. Pembakaran 1 molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO₂ (karbondioksida) dan dua molekul H₂O (air). Pada suhu ruangan dan tekanan standar metana adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau.

Tabel 2.1
Properti Metana Pada Kondisi Standar

Rumus senyawa	: CH ₄
Massa molekul	: 16,04 g/mol
Temperatur Penyalaan	: 580 °C
Densitas	: 0,7168 g/dm ³
Nilai kalor tinggi	: 9510 kcal/m ³
Nilai kalor rendah	: 8570 kcal/m ³

Sumber: Wardana (2008:16)

2.3 Propana

Propana merupakan senyawa alkana tiga karbon (C₃H₈) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tetapi dapat dikompresi menjadi cairan. Pada keadaan oksigen yang besar, propana terbakar dan membentuk air dan karbon dioksida. Bila keadaan oksigen kurang untuk pembakaran sempurna, maka pembakaran tidak sempurna terjadi ketika propana terbakar dan membentuk air, karbon monoksida, dan karbon dioksida.

Tabel 2.2
Properti Propana Pada Kondisi Standar

Rumus senyawa	: C ₃ H ₈
Massa molekul	: 44,1 g/mol
Temperatur Penyalaan	: 480 °C
Densitas	: 0.493 g/cm ³
Nilai kalor tinggi	: 12034 kcal/kg
Nilai kalor rendah	: 11079 kcal/kg

Sumber: Wardana (2008:16)

2.4 Butana

Butana merupakan alkana rantai lurus dengan empat atom karbon CH₃CH₂CH₂CH₃. Butana merupakan gas yang sangat mudah terbakar, tidak berwarna, dan gas yang mudah dicairkan. Ketika oksigen tersedia dalam jumlah yang besar, maka butana akan terbakar dan membentuk karbondioksida dan uap air. Sedangkan, apabila oksigen jumlahnya terbatas, maka akan terbentuk karbon monoksida.

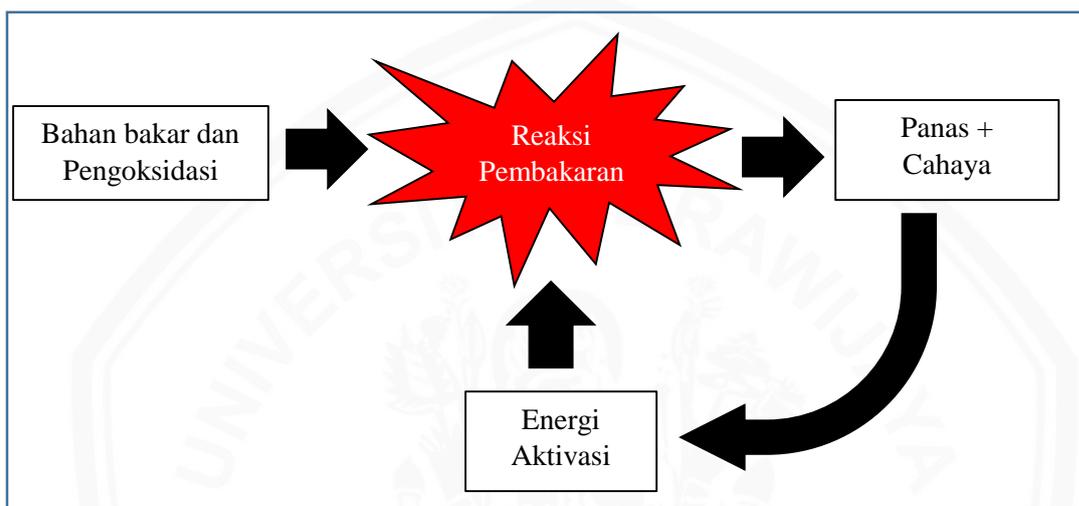
Tabel 2.3
Properti Butana Pada Kondisi Standar

Rumus senyawa	: C ₄ H ₁₀
Massa molekul	: 58,12 g/mol
Temperatur Penyalaan	: 420 °C
Densitas	: 2.48 kg/m ³
Nilai kalor tinggi	: 11832 kcal/kg
Nilai kalor rendah	: 10.926 kcal/kg

Sumber: Wardana (2008:16)

2.5 Pembakaran

Pembakaran merupakan proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom bermuatan yang aktif yang kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dalam jumlah yang sangat besar dan cahaya (Wardana, 2008). Suatu pembakaran akan berlangsung jika terdapat bahan bakar, pengoksidasi (oksigen / udara), dan panas atau energi aktivasi. Panas atau energi aktivasi diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar.



Gambar 2.1 Ilustrasi proses pembakaran

2.6 Reaksi Pembakaran

Pada pembakaran sempurna, reaktan terbakar dengan oksigen menghasilkan beberapa produk. Ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka reaksi utama akan menghasilkan karbon dioksida dan air.

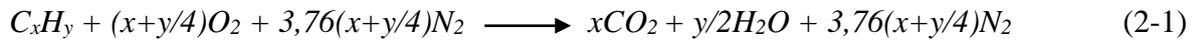
Terdapat dua hal yang sangat penting yang harus terpenuhi agar proses pembakaran dapat berlangsung yaitu kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi.

Tabel 2.4
Komposisi Udara Kering

Udara	Proporsi Volume (%)		Proporsi massa (%)	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO ₂	0,03	0	0,05	0
Gas Lainnya	0,01	0	-	0

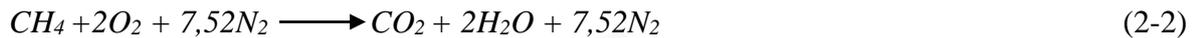
Sumber: Wardana (2008)

Dari tabel tersebut jika hanya diambil komposisi gas nitrogen dan oksigen sedangkan gas argon, CO₂, dan gas lainnya diabaikan maka persamaan reaksi pembakaran hidrokarbon dapat dituliskan sebagai berikut.

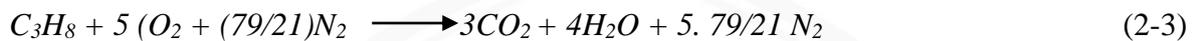


Maka reaksi pembakaran dengan berbagai macam bahan bakar dapat dituliskan sebagai berikut.

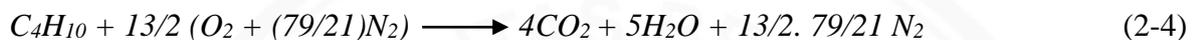
Untuk bahan bakar metana



Untuk bahan bakar propana



Untuk bahan bakar butana

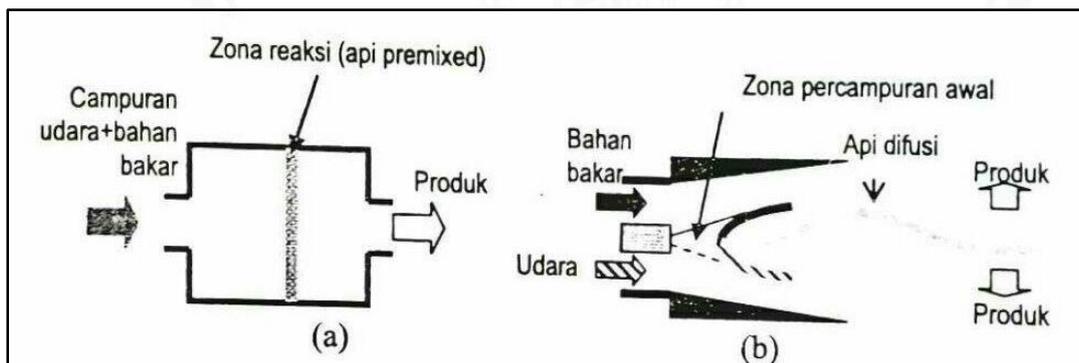


2.7 Klasifikasi Pembakaran

Secara umum, pembakaran dibagi menjadi 3 karakter yaitu:

1. Ditentukan oleh cara reaktan terbakar di dalam zona reaksi
2. Ditentukan oleh perilaku aliran (aerodinamika) reaktan saat melintasi zona reaksi
3. Ditentukan oleh keadaan fisik awal dari bahan bakar (padat, cair, atau gas)

Pada karakter pembakaran yang pertama terdapat pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi. Pembakaran *premixed* terjadi jika reaktan bercampur sebelum zona reaksi. Sedangkan pembakaran difusi terjadi ketika percampuran bahan bakar dan udara terjadi di dalam zona reaksi.

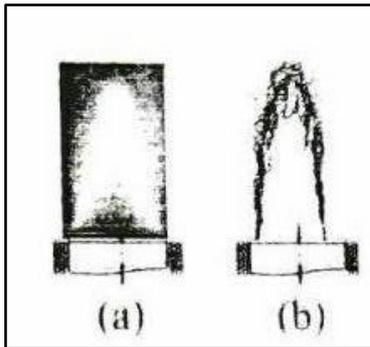


Gambar 2.2 Cara reaktan terbakar (a) Pembakaran *premixed* (b) Pembakaran difusi
Sumber: Wardana (2008:149)

Pada Gambar 2.2(a) sebelum masuk ke ruang bakar, reaktan telah dicampur dengan sempurna yang kemudian terbakar secara cepat dengan tekanan tetap. Setelah melalui zona reaksi reaktan akan menjadi produk. Pembakaran jenis ini akan menghasilkan api *premixed*. Sedangkan pada pembakaran difusi reaktan masuk ke ruang bakar dengan saluran yang

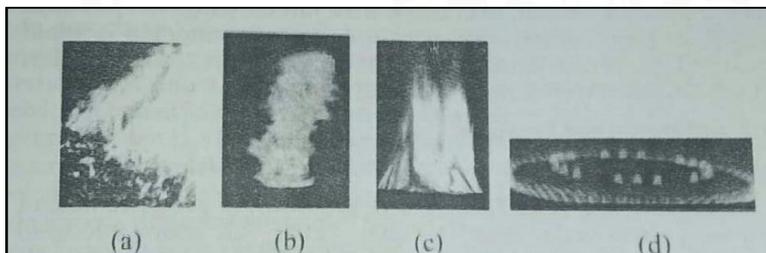
berbeda dan keluar menjadi produk setelah terbakar seperti yang terlihat pada Gambar 2.2(b).

Pada karakter pembakaran yang kedua dibedakan menjadi 2 yaitu laminar dan turbulen. Pada pembakaran laminar semua proses pencampuran dan proses penjarangan reaktan maupun panas terjadi secara molekular sedangkan pada pembakaran turbulen semua proses pencampuran dan proses penjarangan dibantu oleh gerakan pusaran aliran turbulen. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Api laminar dan api turbulen (a) Api *premixed* laminar (b) Api *premixed* turbulen
Sumber: Wardana (2008:151)

Pada karakter pembakaran yang ketiga ditentukan keadaan fisik awal bahan bakar (padat, cair, dan gas). Pada pembakaran bahan bakar gas tidak terjadi perubahan fase sehingga energi yang dibutuhkan untuk pembakaran paling sedikit.



Gambar 2.4 Pembakaran bahan bakar (a) Biomassa (b) Batu bara (c) Minyak jarak (d) LPG
Sumber: Wardana (2008:151)

2.8 Bunsen Burner

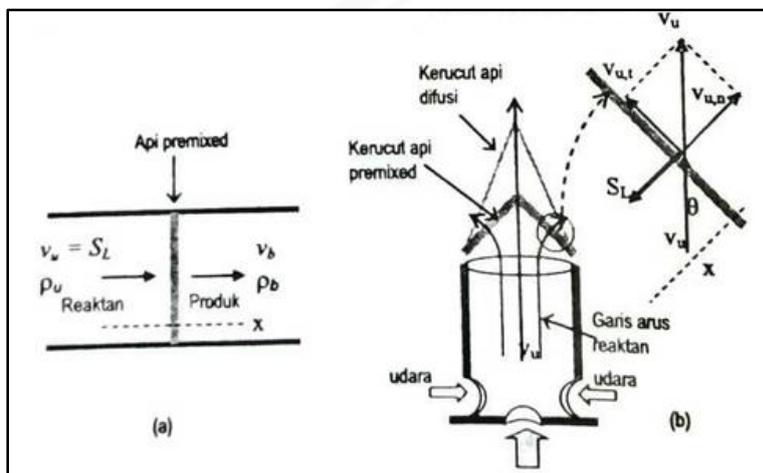
Bunsen burner adalah salah satu alat pembakaran yang menghasilkan nyala api gas tunggal yang terbuka, yang digunakan untuk pemanasan, sterilisasi, dan pembakaran. *Bunsen burner* menghasilkan nyala api *premix*. *Bunsen burner* dikembangkan oleh Robert Bunsen (1811-1899) dengan menggunakan sistem kerja pengaturan bahan bakar dan udara secara kontinyu.

2.9 Api Premixed Laminer

2.9.1 Kecepatan Api Laminer

Kecepatan api laminar merupakan kecepatan dari permukaan depan api (*flame front*) yang relatif terhadap reaktan yang belum terbakar menuju ke permukaan (F. El Mahallawy, 2002).

Bentuk api *premixed* yang paling khas ada dua yaitu api *premixed* di dalam tabung pembakar dan api bunsen. Di dalam tabung pembakar, api *premixed* berbentuk lembar tipis datar yang merambat tegak lurus ke arah reaktan sedangkan pada bunsen api *premixed* berbentuk kerucut dengan dua lapisan yaitu kerucut dalam (dekat dengan mulut nosel) yang merupakan kerucut api *premixed* dan kerucut luar yang merupakan kerucut api difusi.



Gambar 2.5 Struktur api *premixed* (a) Pada tabung pembakar (b) Pada bunsen
Sumber: Wardana (2008:152)

Maka didapatkan kecepatan api *premixed* laminar pada bunsen dengan persamaan:

$$S_L = v_u \sin \phi \quad (2-5)$$

Dimana:

S_L = Kecepatan api laminar (cm/s)

v_u = Kecepatan reaktan (cm/s)

ϕ = Sudut api yang terbentuk antara api dengan sumbu dari nosel ($^{\circ}$)

Dimana kecepatan reaktan bisa dihitung dengan persamaan berikut.

$$v_u = \frac{\dot{m}}{\rho_u A} \quad (2-6)$$

Dimana:

v_u = Kecepatan reaktan (cm/s)

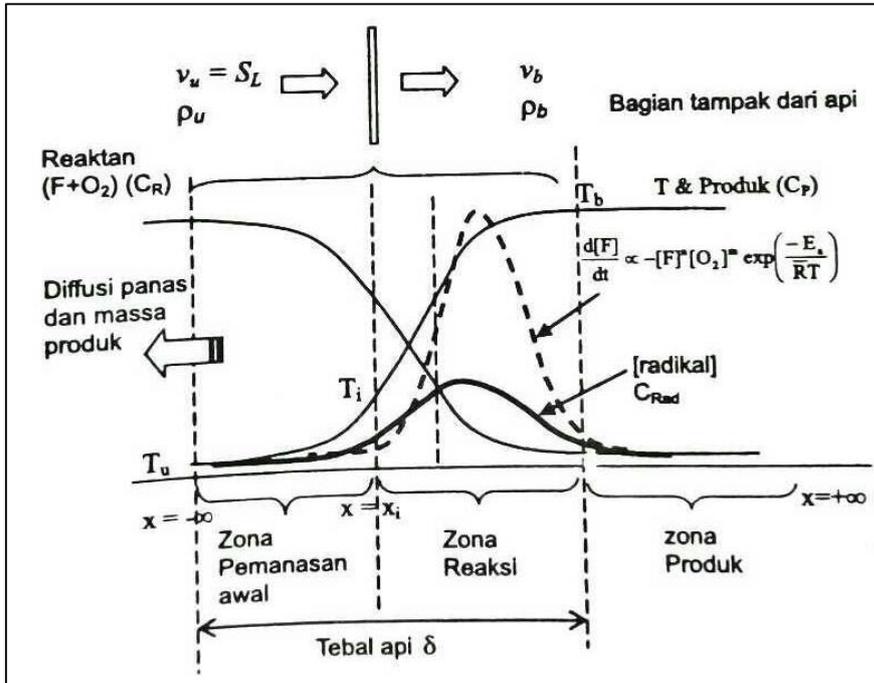
\dot{m} = Massa alir reaktan (g/s)

ρ_u = Densitas reaktan (g/cm³)

A = Luas penampang lintang nosel (cm²)

2.9.2 Struktur Api Laminer

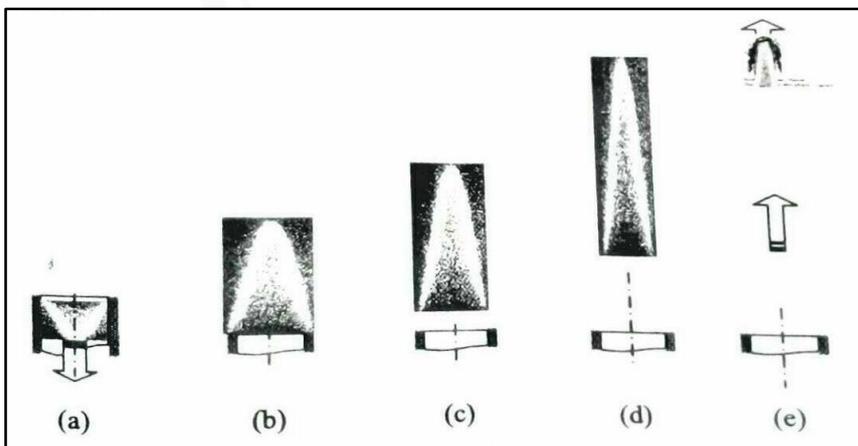
Pada Gambar 2.7 menunjukkan struktur api laminer, terlihat bahwa temperatur produk lebih tinggi dari reaktan yang memicu transfer panas. Karena distribusi produk bersuhu tinggi sama dengan distribusi temperatur maka transfer panas akan disertai difusi massa. Transfer panas yang terjadi secara terus menerus akan meningkatkan temperatur reaktan.



Gambar 2.6 Detail struktur dalam api laminer
Sumber: Wardana (2008:155)

2.10 Stabilitas Nyala

Kestabilan nyala api dapat dinyatakan dari berbagai macam parameter antara lain batas mampu nyala, gradient kecepatan nyala, kerugian kalor dan daerah stabilitas nyala. Daerah stabilitas nyala dibatasi oleh *flashback*, *lift-off*, dan *blow-off*.



Gambar 2.7 (a) Flashback, (b) Stabil, (c) Liftoff, (d) Lifted, (e) Blowoff
Sumber: Wardana (2008:169)

Flashback merupakan peristiwa dimana api masuk dan merambat ke dalam tabung pembakar tanpa pendinginan seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 bagian (a). Sedangkan *lift-off* merupakan peristiwa dimana api tidak menyentuh mulut nosel pembakar tetapi stabil pada beberapa jarak dari mulut nosel seperti yang terlihat pada gambar 2.7 bagian (c). Sedangkan *blow-off* merupakan peristiwa dimana nyala api padam karena kecepatan reaktan lebih cepat daripada kecepatan pembakaran seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 bagian (e).

2.11 Rasio Udara dan Bahan Bakar (AFR)

Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar yang memiliki pengaruh pada hasil pembakarannya. Menurut Wardana (2008), AFR dirumuskan sebagai berikut.

$$AFR = \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \quad (2-7)$$

$$AFR = \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \quad (2-8)$$

Keterangan:

AFR = Perbandingan udara dan bahan bakar dalam kondisi stokiometri

$N_{\text{bahan bakar}}$ = Jumlah mol bahan bakar (mol)

N_{udara} = Jumlah mol udara (mol)

$M_{\text{bahan bakar}}$ = Massa bahan bakar yang dimasukkan (g)

M_{udara} = Massa udara yang dimasukkan (g)

Cara lain untuk menghitung perbandingan udara dan bahan bakar dalam reaksi pembakaran yaitu dengan menggunakan massa molar langsung. Pada reaksi pembakaran atom-atom yang terlibat adalah C, H, O₂, dan N₂ maka massa molar dapat diketahui pada tabel berikut:

Tabel 2.5
Massa molar unsur

Atom/molekul	Massa molekul	Massa molar
C	12,01 sma	12,01 g
H	1,01 sma	1,01 g
O ₂	32 sma	32 g
N ₂	28,02 sma	28,02 g

Sumber: Wardana (2008)

2.12 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu.

Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar, turbulen atau transisi. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

Bilangan *Reynolds* dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}} \quad (2-9)$$

Dimana:

Re = Angka *Reynolds*

V = Kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s)

L = Panjang aliran dalam pipa (ft atau m)

ν = Viskositas kinematik (ft²/s atau m²/s)

ρ = Massa jenis (m³/s)

μ = *Dynamic Viscosity of the gas stream*

Besarnya bilangan Reynold yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat menunjukkan apakah profil aliran tersebut, Menurut Cengel dan Cimbala (2006) kondisi aliran yaitu:

Re < 2300 = Aliran laminar

2300 < Re < 4000 = Aliran transisi

Re > 4000 = Aliran turbulen

2.13 Equivalence Ratio

Equivalence Ratio merupakan perbandingan antara rasio udara dan bahan bakar (AFR) stokiometri terhadap rasio udara dan baha bakar (AFR) aktual. Dirumuskan dengan persamaan:

$$\phi = \frac{AFR_{\text{stokiometri}}}{AFR_{\text{aktual}}} \quad (2-10)$$

jika nilai:

1. $\phi > 1$, merupakan campuran kaya akan bahan bakar
2. $\phi = 1$, merupakan campuran stokiometri
3. $\phi < 1$, merupakan campuran miskin bahan bakar

2.14 Simulasi

Menurut Schriber (1987), simulasi adalah proses memodelkan proses atau sistem dengan menggunakan komputer dengan tujuan untuk mengetahui respon dari tingkah laku

suatu model yang didasari oleh sistem nyata pada waktu tertentu. Sedangkan menurut Harrel (2000), simulasi merupakan tiruan dari sistem dinamis dengan menggunakan komputer untuk mengevaluasi dan memperbaiki performansi sistem.

Menurut Jerry Banks (1995), langkah-langkah perancangan simulasi sebagai berikut:

1. *Problem Formulation*

Problem Formulation merupakan suatu kegiatan untuk memilih satu permasalahan yang dianggap paling penting untuk diselesaikan saat itu dari sekian banyak permasalahan.

2. *Setting of objectives and overall project plan*

- a. Menentukan metode simulasi yang tepat untuk digunakan
- b. Alokasi sumber daya

Contoh: SDM, biaya, waktu

3. *Model conceptualization*

- a. Membutuhkan pengalaman
- b. Mulai dengan model sederhana dan menambahkan kompleksitas
- c. Menangkap esensi dari sistem
- d. Melibatkan user

4. *Data collection*

- a. Membutuhkan waktu
- b. Menentukan data apa saja yang harus dikumpulkan

5. *Model translation*

- a. Terbentuk dalam bahasa komputer.

6. Verifikasi

Apakah program tersebut merepresentasikan/menggambarkan model yang dapat berjalan dengan baik? Gunakan logika/nalar.

7. Validasi

- a. Membandingkan model sistem actual
- b. Apakah model mereplikasikan sebuah sistem?

8. *Simulation analysis*

- a. Menentukan ukuran kinerja

9. *Documentation and reporting*

Benar-benar mendokumentasikan program yang kemungkinan akan digunakan dari waktu ke waktu.

2.15 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan prosedur numerik yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, perpindahan *panas*, *elektromagnetis*, dan *aliran fluida*. Metode Elemen Hingga digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikan persoalan tersebut.

Inti dari Metode Elemen Hingga adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

2.16 Software Berbasis Metode Elemen Hingga

Salah satu *software* yang berbasis metode elemen hingga yang biasa digunakan adalah *ansys*. Ansys merupakan program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis structural, perpindahan panas (*heat transfer*), fluida dan juga elektromagnetik.

Dalam hal ini untuk menyelesaikan simulasi numerik dari permasalahan yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya dipilih CAE dari ANSYS, Inc. dengan *platform* CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menggunakan *Fluent*. CFD merupakan salah satu alternatif untuk permasalahan mengenai komputasi fluida baik gas maupun cair yang berkaitan di bidang keteknikan di samping penggunaan laboratorium, Trimulyono (2012).

Secara umum penyelesaian menggunakan ansys dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. *Preprocessing* (proses awal)

Langkah ini terdiri dari pendefinisian masalah, pemilihan tipe elemen untuk mendiskritisasikan model yang dibuat, memasukkan data material, pemodelan geometri dari benda kerja, *meshing* (pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/diskrit), mendefinisikan analisis solusi yang dipakai, memasukkan kondisi batas, dan menerapkan pembebanan.

2. *Solution* (proses solusi)

Langkah ini meliputi penyelesaian (*solving*)

3. *General Post Processing* (proses pembacaan hasil)

Dalam langkah ini meliputi:

- a. *Plot result*, disini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan atau variabel yang terjadi.
- b. *List result*, disini hasil berupa tabel yang memberikan informasi secara detail nilai perpindahan, tegangan atau variabel lain yang terjadi pada tiap node atau elemennya.
- c. Animasi, hasil analisa yang diperoleh juga ditampilkan dalam bentuk simulasi (animasi).

2.17 CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD merupakan ilmu yang mempelajari tentang analisa aliran fluida, perpindahan panas fenomena yang berhubungan dengannya seperti reaksi kimia dengan menyelesaikan persamaan matematika dan menggunakan bantuan simulasi komputer. Persamaan-persamaan aliran fluida dapat dideskripsikan dengan persamaan differensial parsial yang tidak dapat dipecahkan secara analitis kecuali dengan kasus yang spesial. Sehingga kita membutuhkan suatu metode pendekatan untuk menentukan suatu hasil.

Perbedaan tingkat akurasi eksperimen dengan CFD adalah jika data eksperimen, tingkat akurasi akan bergantung pada alat yang digunakan. Sedangkan akurasi dari solusi numerik, dalam hal ini adalah CFD bergantung pada kualitas diskretisasi yang digunakan. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu untuk mengatasi masalah aliran fluida. Komponen-komponen yang dibutuhkan dalam algoritma numerik adalah model matematika dan metode diskretisasi (Versteeg, 2007).

Langkah awal dalam menyusun algoritma numerik adalah model matematika. Model matematika digunakan untuk mendeskripsikan aliran fluida dengan menentukan persamaan differensial parsial dan kondisi batas dari suatu prediksi aliran fluida. Persamaan umum dari aliran fluida yang merepresentasikan model matematika didapatkan dari tiga prinsip utama, yaitu:

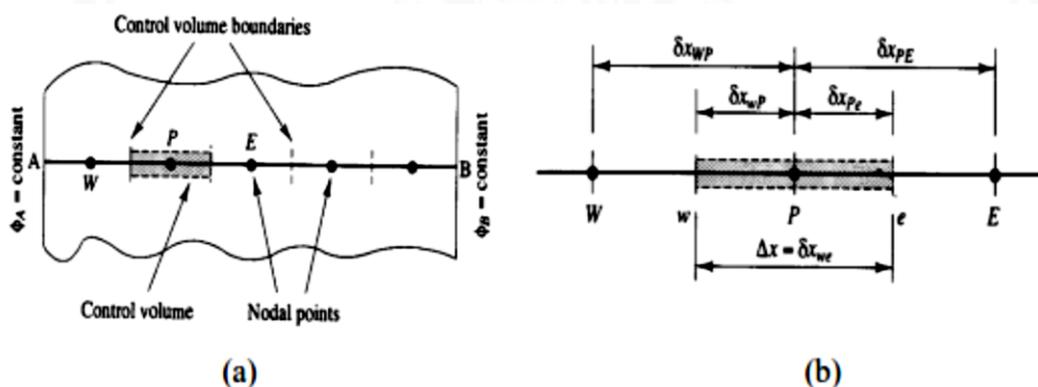
1. Hukum kekekalan massa (persamaan kontinuitas),
2. Hukum II Newton (persamaan momentum),
3. Hukum kekekalan energi (persamaan energi).

Setelah menentukan model matematika, kita harus memilih metode diskretisasi yang cocok dengan kata lain sebuah metode dari pendekatan persamaan differensial dengan sistem persamaan aljabar. Untuk menentukan sebuah solusi pendekatan numerik, kita harus menggunakan metode diskretisasi persamaan differensial dengan sistem persamaan aljabar yang dapat dipecahkan dengan komputer. Ada beberapa metode pendekatan, yaitu *finite*

difference method, finite element method, dan finite volume method. Salah satu metode yang sering digunakan dalam analisa CFD adalah *finite volume method* atau metode volume hingga.

Metode volume hingga mula-mula dikembangkan dari formulasi *special finite difference*. Metode volume hingga menggunakan bentuk integral dari persamaan umum untuk dilakukan diskretisasi persamaan. Solusi dibagi ke dalam sejumlah *control volume* yang berhingga, dan persamaan umum yang telah didiskretisasi diaplikasikan pada tiap *control volume*. Titik pusat tiap *control volume* merupakan nodal komputasi pada variabel yang dihitung.

Untuk kasus satu dimensi dapat digambarkan seperti Gambar 2.8 dibawah, merepresentasikan pembagian domain ke dalam *control volume* yang berhingga dan notasi yang biasa digunakan. Titik nodal diidentifikasi dengan P dan titik nodal didekatnya di sebelah barat dan timur diidentifikasi dengan W dan E. Titik permukaan *control volume* di sisi barat ditunjuk dengan *w* dan di sisi timur dengan *e*. Jarak antara nodal W dan P, dan antara P dan E diidentifikasi dengan δx_{WP} dan δx_{PE} . Sedangkan jarak antara titik permukaan *control volume* *w* dengan titik nodal P, dan antara titik nodal P dengan titik permukaan *control volume* *e* dinotasikan dengan δx_{wP} dan δx_{Pe} . Panjang *control volume* adalah δx_{we} .



Gambar 2.8 (a) Pembagian *control volume* 1 dimensi, (b) Panjang *control volume*
Sumber: Versteeg (2007)

Persamaan yang mengatur diselesaikan melalui *control volume* diskrit. Metode volume hingga menyusun kembali persamaan atur diferensial parsial, yaitu persamaan Navier-Stokes, dalam bentuk konservatif dan kemudian didiskritkan persamaan baru. Hal ini menjamin konservasi fluks melalui *control volume* tertentu. Yang terbatas menghasilkan persamaan volume yang mengatur persamaan dalam bentuk,

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint Q dV + \iint F dA = 0 \quad (2-11)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:122)

Dimana Q adalah vektor variabel dilestarikan, F adalah vektor dari fluks, V adalah volume dari elemen kontrol volume, dan luas permukaan elemen volume kontrol.

CFD menyajikan pemodelan dari suatu pembakaran dengan sangat baik. Proses pembakaran diatur oleh persamaan *transport* dasar untuk aliran fluida dan *heat transfer* dengan model-model tambahan untuk pembakaran kimiawi, perpindahan panas radiasi dan proses-proses penting lainnya. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan dalam proses pemodelan pembakaran di CFD seperti persamaan kontinuitas, persamaan momentum, persamaan *transport species*, persamaan energi dan sebagainya.

Persamaan kontinuitas sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2-12)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dari persamaan tersebut perlu dicatat bahwa densitas dalam aliran pembakarannya variabel, dan tergantung pada tekanan, temperatur dan *species concentration*.

Persamaan momentum sebagai berikut,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial t_{ij}}{\partial x_i} + F_i \quad (2-13)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dimana adalah tegangan *viscous* dan F_i adalah *body force* (dimana sudah termasuk gravitasi) : t_{ij}

$$t_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (2-14)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Persamaan *transport equations* sebagai berikut,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \rho Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right) + \omega_k \quad (2-15)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

2.18 Pemodelan Pembakaran pada CFD

Pembakaran merupakan proses yang melibatkan aliran fluida turbulen, perpindahan panas, reaksi kimia, perpindahan panas radiasi dan proses fisik dan kimia kompleks lainnya. Sangat penting untuk dapat memprediksi aliran, suhu, hasil konsentrasi dan emisi spesies dari berbagai sistem pembakaran untuk disain dan perbaikan peralatan pembakaran, terutama dengan kekhawatiran saat ini tentang CO₂ dan tingkat emisi lainnya dan

pengaruhnya terhadap lingkungan. CFD sangat cocok untuk pemodelan pembakaran. Proses pembakaran diatur oleh persamaan transportasi dasar untuk aliran fluida dan perpindahan panas dengan model tambahan untuk kimia pembakaran, perpindahan panas radiasi dan sub-proses penting lainnya. Pembakaran adalah subjek yang kompleks, dan pemodelan pembakaran karenanya membutuhkan cukup banyak pengetahuan dan pengalaman.

Ada banyak jenis proses pembakaran. Pembakaran bahan bakar gas, pembakaran bahan bakar cair, pembakaran bahan bakar padat, *spray*, *pulverized*, dan lainnya. Untuk menggambarkan penerapan CFD maka akan difokuskan pada pembakaran gas. Untuk proses lain yang lebih kompleks maka harus dilakukan studi literatur lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana CFD berhasil diterapkan di area seperti pembakaran semprot (Beck dan Watkins, 2004), pembakaran batubara bubuk (Lockwood et al., 1980, 1986), diesel dan spark ignition Mesin (Blunsdon et al., 1992, 1993; Henson dan Malalasekera, 2000) sebagai alat pemodelan.

Pembakaran gas melibatkan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang berada dalam fase gas. Ada dua kategori proses pembakaran gas: pembakaran *premix* dan pembakaran *non-premixed*. Misalnya, *flame* di bunsen burner yang sudah dikenal merupakan pembakaran *premix*, karena udara telah dicampur dengan gas sebelum pembakaran. *Non-premix flame* juga disebut difusi *flame* karena bahan bakar dan oksigen dimasukkan ke zona pembakaran di dua atau lebih aliran terpisah dan selanjutnya disatukan karena difusi dan pencampuran sebelum pembakaran.

Sebelum dan sesudah pembakaran, volume gas biasanya mengandung campuran spesies. Oleh karena itu penting untuk mempertimbangkan sifat dasar campuran tersebut.

Fraaksi mol spesies k dalam campuran didefinisikan sebagai,

$$X_k = \frac{n_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_N} = \frac{n_k}{n_{\text{total}}} \quad (2-16)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

Dalam aliran pembakaran, temperatur bergantung pada keadaan termodinamika dan komposisi dari (*mixture*) campuran. Beberapa model pembakaran tidak membutuhkan persamaan *transport* untuk mencari entalpi, semisal pada model *laminar flamelet*, temperatur didapatkan dari *laminar flamelet library curves*. Energi kimiawi dilepaskan sebagai panas selama pembakaran dan hasil entalpi diperoleh dengan penyelesaian persamaan *transportnya*, berikut persamaan energi yang digunakan:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu}{\sigma h} \frac{\partial h}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{1}{s_{ck}} - \frac{1}{\sigma h} \right) \sum_{k=1}^N h_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial p}{\partial t} + S_{rad} \quad (2-17)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

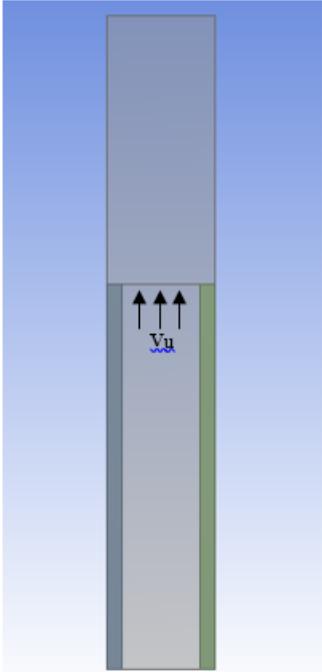
Untuk menyertakan *finite rate* dan ilmu kimia rinci dalam perhitungan pembakaran harus dipertimbangkan mekanisme rinci dan menyelesaikan banyak persamaan *species transport* dalam bentuk.

$$\frac{\partial}{\partial t} (r\rho u Y_k) + \frac{\partial}{\partial x} (r\rho v Y_k) = \frac{\partial}{\partial x} \left(r\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial r} \right) + r\omega_k \quad (2-18)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

2.19 Kondisi Batas Pemodelan Pembakaran dalam *Computational Fluid Dynamics*

Dalam melakukan pemodelan, perlu untuk menentukan kondisi batas atau *boundary condition* yang dikehendaki pada model. Kondisi batas ini bertujuan agar pemodelan yang dibuat dapat sesuai dengan parameter dan kondisi yang diinginkan. Gambar 2.9 ini merupakan kondisi batas dari pemodelan pembakaran yang digunakan pada penelitian ini.



Kondisi Batas Pemodelan:

- Kecepatan Reaktan (v_u) = 0,477 m/s
- Bahan Bakar = Oksigen dan Metana (Campuran Stoikiometrik)
- Solver = Pressure-Based, Steady State, dan Axisymmetric
- Species Model = Species Transport, Eddy Dissipation
- Pressure Velocity Coupling = SIMPLE (Semi-Implicite Method for Pressure Linked Equation)
- Density = Ideal Gas Law
- Pemodelan Sistem:
 - o Material Sistem = Udara
 - o Temperatur Sistem = 300 K
 - o Tekanan Sistem = 1 atm
 - o Keadaan Sistem = Adiabatik

Gambar 2.9 Kondisi batas pemodelan

1. *Pressure-Based*

Penyelesaian *Pressure-Based* ini digunakan pada aliran yang bersifat subsonik. Pada penyelesaian *Pressure-Based* ini pada awalnya nilai dari *face pressure* pada batas sistem sama dengan nilai pada *pressure outlet*. Ketika pilihan *average pressure specification* diaktifkan, maka nilai *face pressure* pada batas luar sistem dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P_f = 0,5 (P_c + P_e) + d_p$$

$$dp = \left(p_c - \frac{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} 0.5 (p_c + p_e) (\text{Area})}{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} \text{Area}} \right)$$

Keterangan:

P_c = Tekanan *Interior Cell*

P_e = Tekanan Keluar

dp = Perbedaan nilai tekanan antara tekanan spesifik P_e dengan tekanan rata-rata akhir pada batas

2. *Steady State*

Perhitungan *steady state* ini digunakan ketika karakteristik perhitungan tidak mengalami perubahan berdasarkan waktu. Pada kondisi *steady* ini diasumsikan didapat setelah mencapai interval waktu yang relatif panjang. Pada kondisi *steady* ini tidak diperlukan informasi waktu secara terus menerus untuk mendeskripsikan karakteristik perhitungan. Banyak aplikasi aliran yang dapat diasumsikan berupa *steady* setelah awalnya berupa aliran yang *unsteady*, contohnya berupa aliran setelah beroperasinya mesin rotari.

3. *2D Axisymmetric*

Pada permasalahan dengan geometri berupa silinder atau geometri yang berotasi secara simetri, persamaan yang digunakan dapat disederhanakan menjadi persamaan bentuk dua dimensi dengan transformasi koordinat secara *axisymmetric*. Pada sumbu simetri, koefisien reaksi bernilai nol, digunakan sebagai referensi di mana koordinat, gradien, dan operator divergen akan bertransformasi. Dengan metode ini, persamaan ini akan disederhanakan menjadi bentuk dua dimensi, namun tetap menampilkan persamaan rotasi tiga dimensional.

4. *Eddy Dissipation*

Metode *Eddy Dissipation* ini digunakan karena dalam menggunakan metode *Eddy Dissipation* ini tidak diperlukan pemantik. Dengan menggunakan metode *Eddy Dissipation* ini cukup sederhana dan praktis, karena memudahkan dalam pembuatan geometri karena tidak perlu menambahkan pemantik untuk menginisiasi terjadinya proses pembakaran dan juga dalam menentukan kondisi batas, tidak perlu menentukan kondisi batas untuk pemantik. Selain itu, *Eddy Dissipation* dapat digunakan pada berbagai kasus, sehingga tidak perlu dilakukan penyesuaian pada tiap kasus. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan pada metode *Eddy Dissipation*.

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min R \left(\frac{Y_R}{v'_R M_w R} \right)$$

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\varepsilon \sum p Y_p}{k \sum_j^N v_j^n \cdot r M_{w,j}}$$

Keterangan:

Y_P = Fraksi massa dari produk

Y_R = Fraksi massa dari reaktan

A = Konstanta Empiris yang Bernilai 4

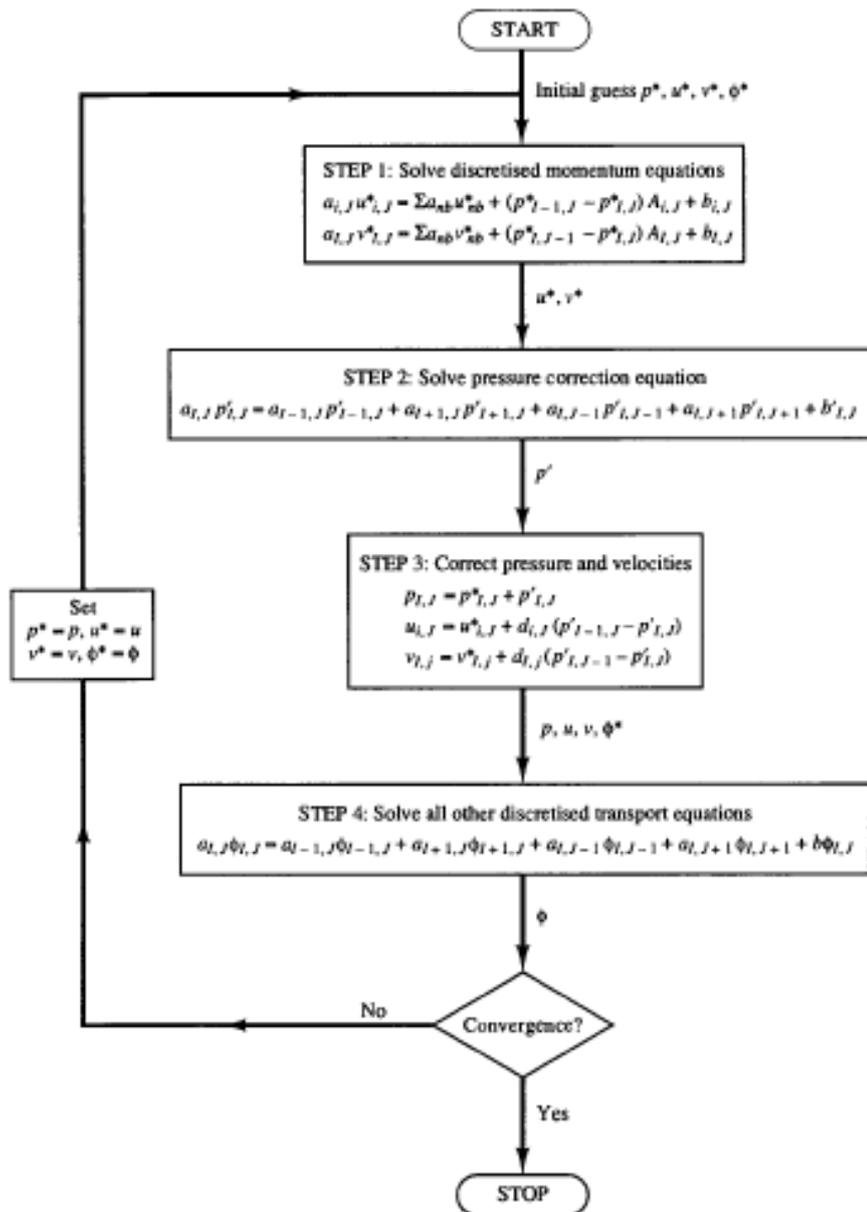
B = Konstanta Empiris yang Bernilai 0,5

5. SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation*)

Metode SIMPLE ini digunakan karena sangat sesuai dengan kondisi analisis pada simulasi yang dilakukan, yaitu analisis berupa analisis dua dimensi, dengan kondisi aliran tunak, dan laminar. Selain itu algoritma dari SIMPLE ini lebih sederhana dibandingkan dengan metode lainnya sehingga proses perhitungan dapat berlangsung lebih cepat dibandingkan metode lainnya. Berikut ini adalah algoritma dari metode SIMPLE:

- a. Membagi persamaan ke dalam bentuk yang lebih kecil
- b. Menyelesaikan persamaan tekanan terkoreksi
- c. Mengkoreksi tekanan dan kecepatan
- d. Menyelesaikan persamaan lain yang telah dibagi ke dalam bentuk kecil tadi

Algoritma tersebut akan mengalami pengulangan secara terus menerus (iterasi) hingga proses perhitungan yang dilakukan telah konvergen. Berikut ini merupakan diagram alir dari metode SIMPLE.



Gambar 2.10 Diagram alir metode SIMPLE

2.17 Hipotesis

Dari tinjauan pustaka, dapat diambil hipotesis bahwa Semakin kuat ikatan dalam suatu bahan bakar maka akan semakin besar energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan tersebut. Dan ketika suatu molekul terputus ikatannya maka atom-atom tersebut akan bereaksi dengan atom-atom lainnya membentuk suatu ikatan baru yang menghasilkan energi, jika ikatan baru yang dihasilkan jauh lebih stabil daripada ikatan semula maka akan menghasilkan energi yang lebih besar juga.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah simulasi. Dari simulasi ini didapatkan kemungkinan yang terjadi saat eksperimen secara langsung. Simulasi menggunakan *software Ansys workbench 14.5 Fluent*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai Januari 2018 sampai dengan Juni 2018 bertempat di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat 3 variabel yang digunakan pada penelitian :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain dan bisa diubah-ubah. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi jenis gas yaitu: Butana, Propana, dan Metana.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas yang dapat diketahui setelah penelitian dilaksanakan. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah karakteristik nyala api meliputi kecepatan api laminar, temperatur api, dan tinggi api.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditetapkan selama proses penelitian berlangsung. Variabel terkontrol yang terdapat pada penelitian ini adalah:

- a. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium
- b. Panjang benda kerja sebesar 50 mm
- c. Diameter dalam *bunsen burner* sebesar 10 mm

3.4 Prosedur Penelitian

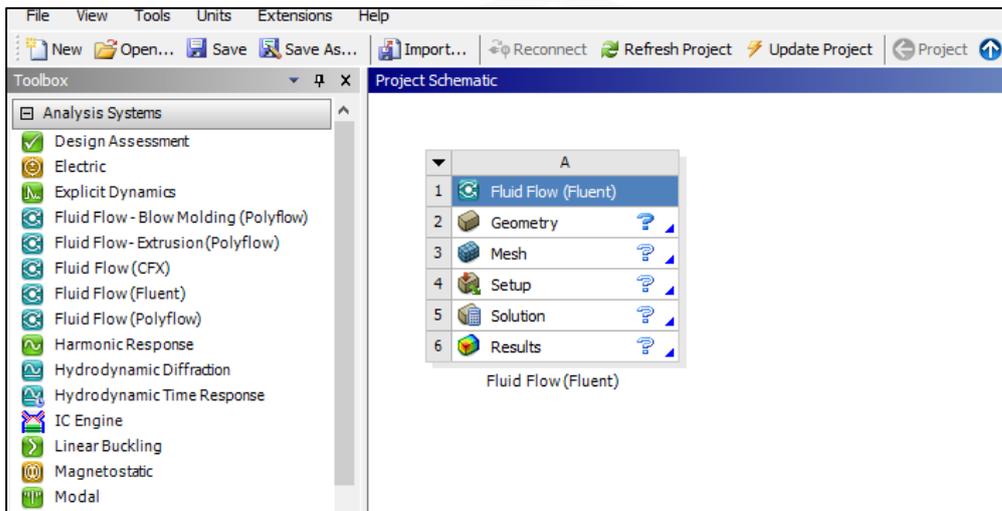
Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Studi literatur

Literatur yang dipelajari yakni artikel, buku- buku, jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini yakni mengenai pembakaran pada *Bunsen Burner*.

2. Simulasi menggunakan *ansys workbench 14.5*

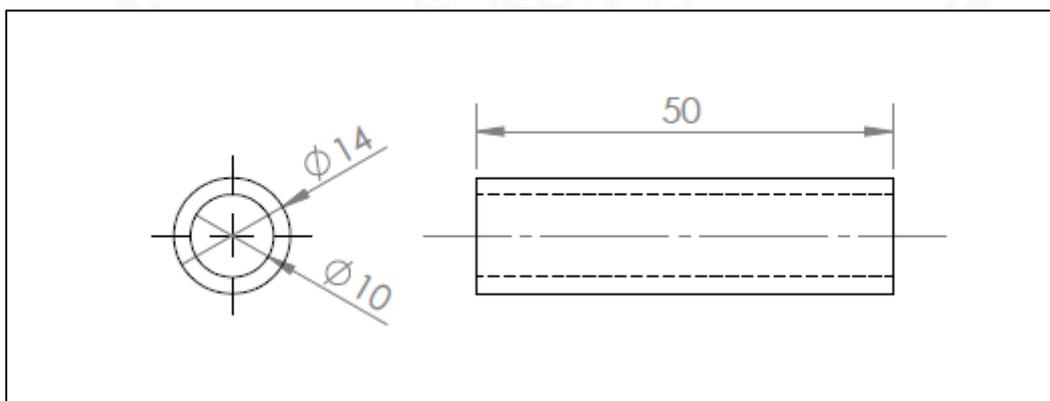
Pada simulasi ini menu yang digunakan adalah *Fluid Flow Fluent*. Seperti yang di tunjukkan pada Gambar 3.1. *Fluid Flow Fluent* digunakan untuk mendapatkan karakteristik pengaruh fluida terhadap bentuk-bentuk bejana (*nozzle, diffuser, dan lain-lain*), pencampuran fluida.



Gambar 3.1 Menu *Fluid Flow Fluent*

3. Pemodelan geometri *Bunsen Burner*

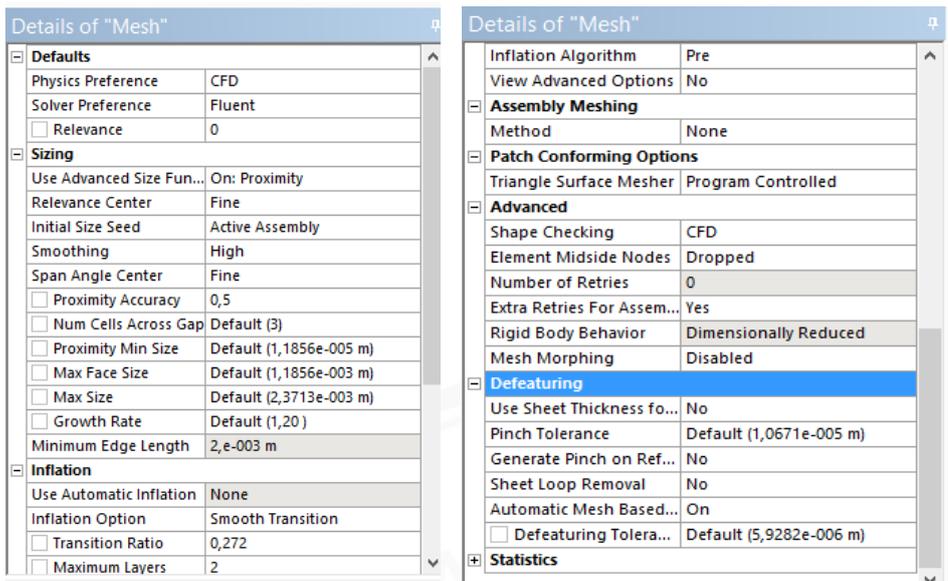
Pada penelitian ini *bunsen burner* dimodelkan dengan ukuran diameter 10 mm, panjang 50 mm dengan tebal dinding 2 mm.



Gambar 3.2 Permodelan geometri

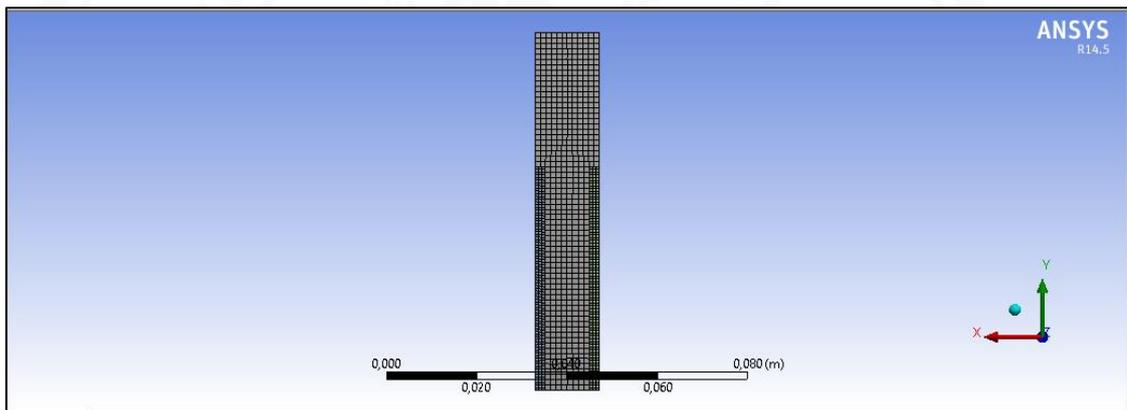
4. Pembagian *Mesh*

Mesh digunakan untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil/diskrit. Semakin kecil ukuran diskritisasi maka hasil perhitungan akan semakin teliti. *Meshing* dapat dilakukan dengan penganturan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengaturan *meshing*

Melalui pengaturan *mesh* tersebut diperoleh hasil *meshing* dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Hasil *meshing*

5. Mengatur kondisi batas

Pada penelitian kali ini memiliki beberapa yang dibatasi. Pada pengaturan *ansys workbench* akan diatur supaya proses penelitian mendekati eksperimen nyata. Berikut batasan masalah yang diatur pada simulasi kali ini:

- Solver* : *Pressure-based, steady-state and axisymmetric*
- Species model* : *Eddy-Dissipation*
- Pres-velocity coupling* : *SIMPLE*
- Density* : *Ideal gas law*
- Mixture spesific heat* : *Mixing law*
- Species spesific heat* : *Piecewise-Polynomial*

6. *Processing Solution*

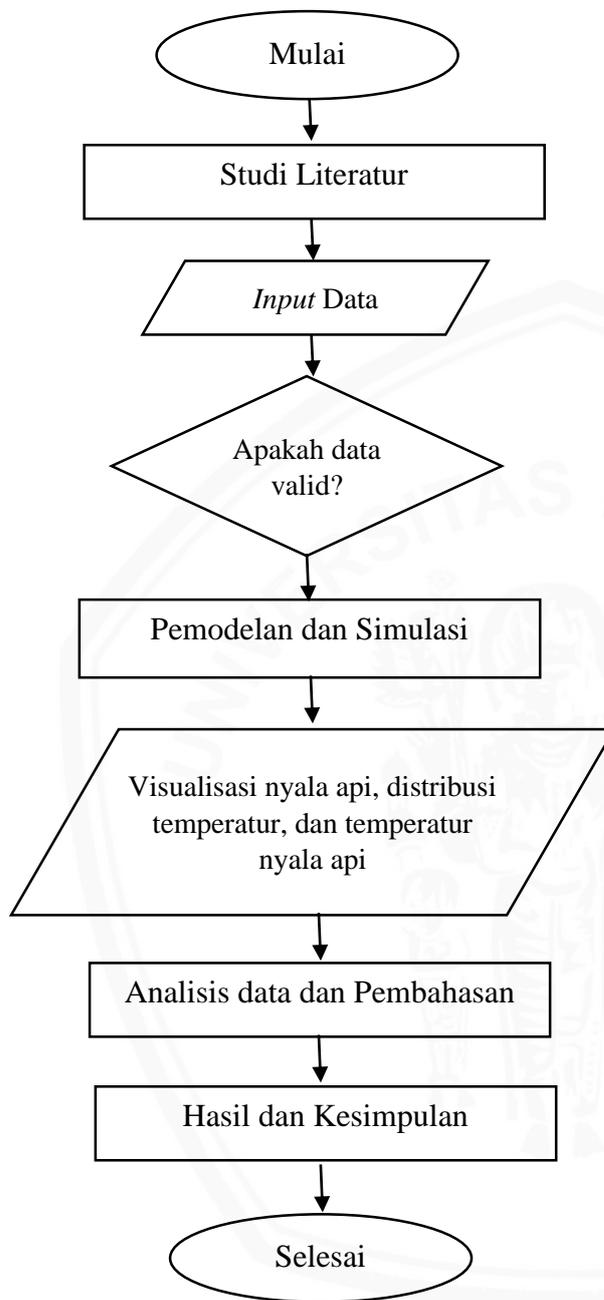
Pada bagian proses *solution* merupakan proses perhitungan dengan memasukkan *boundary conditions*.

7. *Plot Result*

Merupakan pengambilan dan pengolahan data hasil perhitungan yang nantinya akan didapatkan data visualisasi nyala api, distribusi temperatur, dan temperatur nyala api.



3.5 Diagram Alir Penelitian

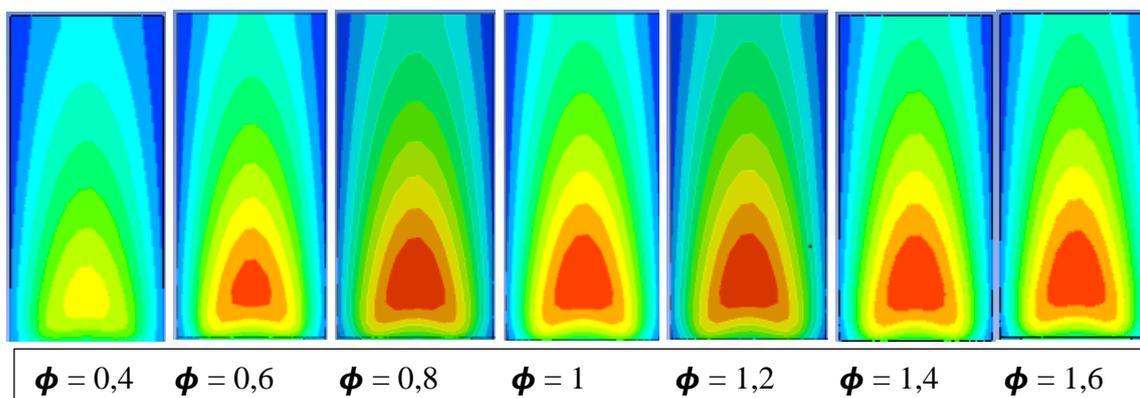


Gambar 3.5 diagram alir penelitian

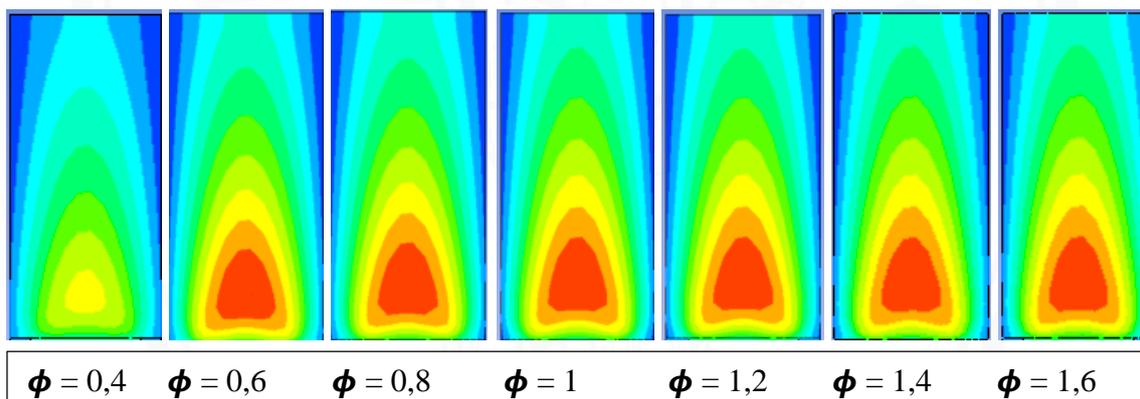


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

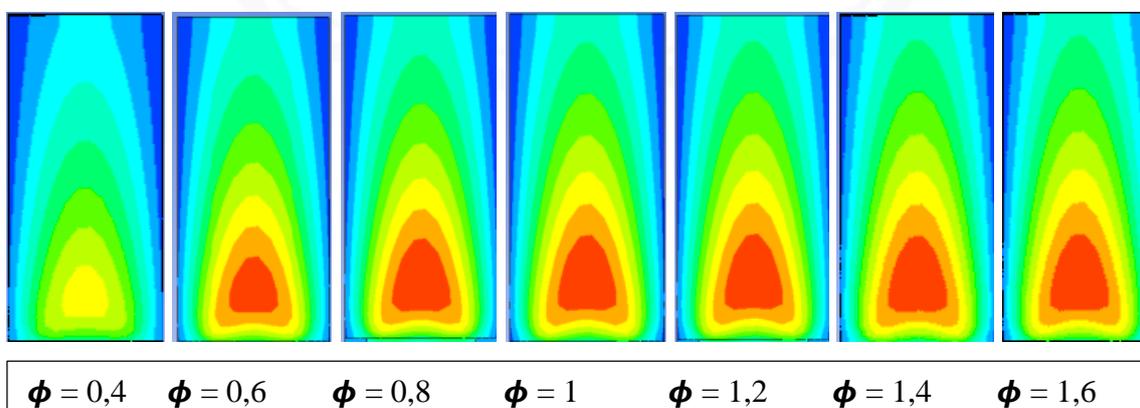
4.1 Hasil Visualisasi Nyala Api



Gambar 4.1 Hasil nyala api dengan bahan bakar butana dengan variasi ekuivalen rasio



Gambar 4.2 Hasil nyala api dengan bahan bakar metana dengan variasi ekuivalen rasio



Gambar 4.3 Hasil nyala api dengan bahan bakar propana dengan variasi ekuivalen rasio

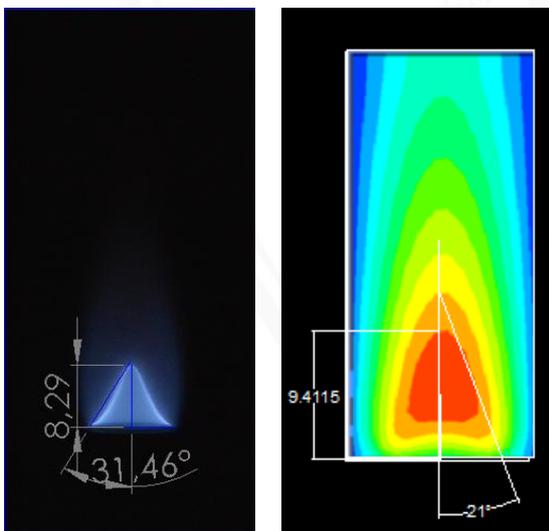
Dari simulasi menggunakan *software ansys 18.1 fluent* diperoleh hasil visualisasi nyala api yang terlihat pada gambar 4.1 , gambar 4.2, dan gambar 4.3. Pada gambar 4.1 menunjukkan nyala api dari bahan bakar butana dengan variasi ekivalen rasio sebesar 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4 dan 1,6 sedangkan pada gambar 4.2 menunjukkan nyala api dengan bahan bakar metana dengan variasi ekivalen rasio yang sama kemudian gambar 4.3 menunjukkan nyala api dengan ekivalen rasio yang sama tetapi menggunakan bahan bakar propana.

Dari gambar diatas terlihat perbedaan tinggi nyala api yang dihasilkan oleh setiap *bunsen burner* dengan variasi bahan bakar gas yang digunakan.

4.2 Verifikasi penelitian

Pada penelitian kali ini verifikasi digunakan untuk membandingkan hasil dari penelitian eksperimental mengenai variasi diameter *bunsen burner* terhadap karakteristik nyala api pembakaran premix gas metana yang dilakukan oleh Winedi, 2017. Diameter berukuran 8mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, dan 12 mm.

Hasil yang didapat dari eksperimental menunjukkan bahwa visualisasi bentuk nyala api, pada saat equivalence ratio mendekati 1 maka tinggi api akan semakin tinggi dan turun pada ekuivalen ratio melebihi 1. Berikut perbandingan nyala api yang dihasilkan pada bahan bakar metana.



Gambar 4.4 Perbandingan Visualisasi nyala api, tinggi api, dan sudut yang dihasilkan pada equivalence ratio 1 pada bahan bakar butana

Tabel 4.1

Verifikasi Perbandingan Hasil Penelitian Eksperimental Dan Hasil Penelitian Simulasi

no	Jenis pembanding	Hasil eksperimental	Hasil simulasi
1	Bahan bakar	Metana	Metana
2	Diameter	Diameter luar =14 mm Diameter dalam = 10mm	Diameter luar = 14vmm Diameter dalam = 10 mm
4	Equivalence ratio	1	1
5	Temperatur Api (pada ekuivalen rasio 1) (K)	1495	2108
6	Tinggi Nyala api (pada equivalence ratio) (mm)	9,23	9,41
7	Kecepatan Api Laminar (pada ekuivalen ratio 1) (cm/s)	45, 2	29

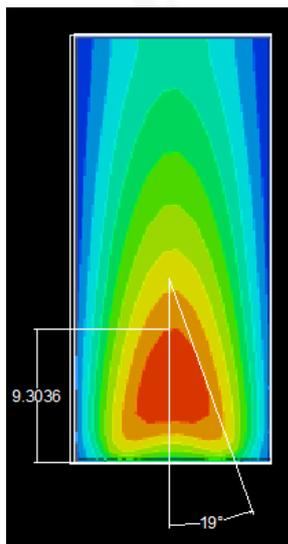
Dari Tabel 4.1 setelah dilakukan verifikasi disimpulkan bahwa data hasil simulasi dapat dinyatakan valid karena data hasil simulasi memiliki trendline yang sama dengan data eksperimental.

4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

4.3.1 Pengolahan Data Visual

Hasil dari simulasi menggunakan *software ansys 18.1 fluent* berupa data visual seperti yang terlihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. data visual tersebut kemudian diolah menggunakan *software CAD* untuk mendapatkan data berupa tinggi api dan sudut api yang mana ukurannya menyesuaikan dengan ukuran aktual dari *bunsen burner*. Data berupa tinggi api dan sudut api nantinya akan digunakan untuk menentukan kecepatan api laminar.

Berikut contoh pengolahan data visual menggunakan *software CAD*:



Gambar 4.5 Pengolahan data bahan bakar butana dengan ekuivalen rasio 0.8

Dari Gambar 4.5 diperoleh tinggi api dan sudut api yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan api laminer. Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 untuk tinggi api dan sudut api dari variasi bahan bakar:

Tabel 4.2

Tabel Data Bunsen Burner Dengan Bahan Bakar Butana

Parameter	$\phi = 0,4$	$\phi = 0,6$	$\phi = 0,8$	$\phi = 1$	$\phi = 1,2$	$\phi = 1,4$	$\phi = 1,6$
α (°)	-	14	19	21	19	18	17
Tinggi api (mm)	-	7,22	9,3	9,61	9,48	9,39	9,37

Tabel 4.3

Tabel Data Bunsen Burner Dengan Bahan Bakar Metana

Parameter	$\phi = 0,4$	$\phi = 0,6$	$\phi = 0,8$	$\phi = 1$	$\phi = 1,2$	$\phi = 1,4$	$\phi = 1,6$
α (°)	-	17	21	21	18	18	17
Tinggi api (mm)	-	8,25	8,82	9,41	9,04	8,99	8,88

Tabel 4.4

Tabel data *bunsen burner* dengan bahan bakar propana

Parameter	$\phi = 0,4$	$\phi = 0,6$	$\phi = 0,8$	$\phi = 1$	$\phi = 1,2$	$\phi = 1,4$	$\phi = 1,6$
α (°)	-	19	20	23	21	18	16
Tinggi api (mm)	-	8,02	9,3	9,71	9,78	9,58	9,37

Dari Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 dapat dilihat kecenderungan bahwa semakin besar ekuivalen rasio maka sudut api dan tinggi api akan semakin besar dan turun saat melewati ekuivalen rasio 1 atau stokiometri.

4.3.2 Pengolahan Data Numerik

Selanjutnya setelah dilakukan pengolahan data visual maka akan didapatkan data berupa kecepatan api laminer dengan menggunakan persamaan (2-2). Berikut adalah perhitungan nilai kecepatan api laminer *bunsen burner* dengan bahan bakar butana pada nilai ekuivalen rasio 0,8 dimana kecepatan reaktan telah ditentukan sebesar 0,81 m/s.

$$S_L = v \sin \alpha$$

$$S_L = 0,81 \text{ m/s} \cdot \sin 19^\circ$$

$$S_L = 0,81 \text{ m/s} \times 0,45$$

$$S_L = 0,26 \text{ m/s}$$

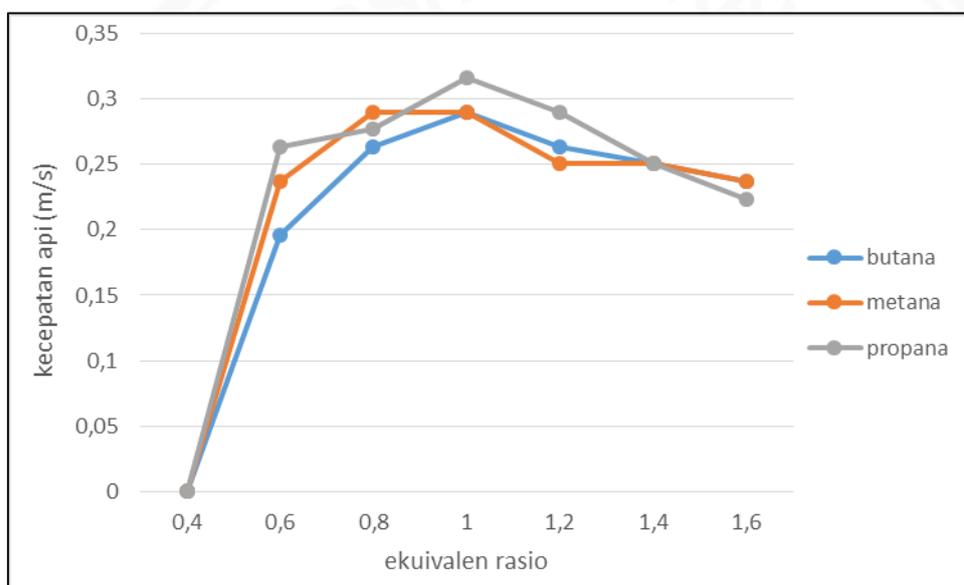
Tabel 4.5

Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api Masing-masing Variasi bahan bakar

Bahan bakar	parameter	$\Phi=0,4$	$\Phi=0,6$	$\Phi=0,8$	$\Phi=1$	$\Phi=1,2$	$\Phi=1,4$	$\Phi=1,6$
Butana	T (K)	1432	1700	1895	2070	2067	2067	1938
	S_L (m/s)	-	0,19	0,26	0,29	0,26	0,25	0,23
	Tinggi api (mm)	-	7,22	9,3	9,61	9,48	9,39	9,37
Metana	T (K)	1432	1724	1856	2108	2032	1954	1894
	S_L (m/s)	-	0,23	0,29	0,29	0,25	0,25	0,23
	Tinggi api (mm)	-	8,25	8,82	9,41	9,04	8,99	8,88
Propana	T (K)	1432	1700	1894	2111	2056	1976	1909
	S_L (m/s)	-	0,26	0,27	0,31	0,29	0,25	0,22
	Tinggi api (mm)	-	8,02	9,3	9,71	9,78	9,58	9,37

4.4 Grafik dan Pembahasan

4.4.1 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Kecepatan Api Laminer



Gambar 4.6 Grafik Hubungan ekuivalen rasio terhadap kecepatan api laminar

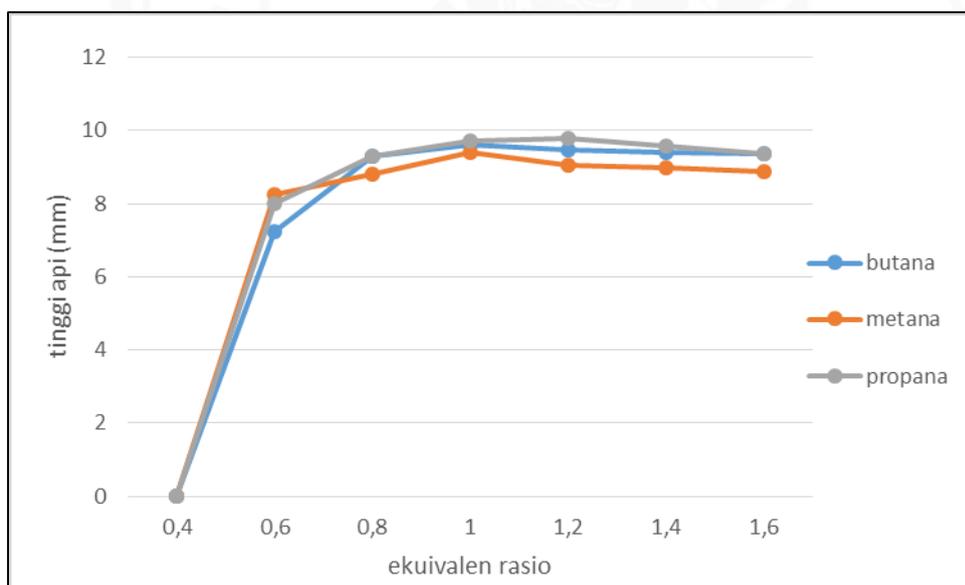
Pada Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan ekuivalen rasio terhadap kecepatan api laminar pada setiap variasi bahan bakar. Dimana grafik dengan warna biru mewakili butana, grafik dengan warna orange mewakili metana dan grafik dengan warna abu-abu mewakili propana. Untuk setiap variasi bahan bakar diuji dengan variasi nilai ekuivalen rasio sebesar 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4, dan 1,6.

Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka kecepatan api laminar akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio melebihi satu. Pada bunsen burner dengan variasi bahan bakar butana nilai kecepatan api laminar secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4, dan 1,6 adalah sebesar 0 ; 0,19 ; 0,26 ; 0,29 ; 0,26 ; 0,25, dan 0,23. Sedangkan untuk bahan bakar metana nilai kecepatan api laminar secara urut berdasarkan nilai

ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6 adalah sebesar 0 ; 0,23 ; 0,29 ; 0,29 ; 0,25 ; 0,25, dan 0,23. Kemudian untuk nilai kecepatan api laminer untuk variasi bahan bakar gas propana secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6. adalah sebesar 0 ; 0,26 ; 0,27 ; 0,31 ; 0,29 ; 0,25, dan 0,22. Kemudian nilai kecepatan api laminer berdasarkan variasi jenis bahan bakarnya propana memiliki nilai kecepatan api laminer yang lebih tinggi dengan nilai ekuivalen rasio yang sama kemudian disusul butana dan yang terakhir metana.

Kecepatan api laminer dipengaruhi oleh kecepatan reaktan dan sudut api yang dihasilkan. Kecepatan reaktan dipengaruhi oleh debit bahan bakar , debit udara dan luas penampang dari *bunsen burner*. Pada simulasi ini fraksi mol bahan bakar dikontrol tetap untuk setiap variasi bahan bakar, begitupun dengan diameter *bunsen burner* juga dibuat sama untuk setiap variasi bahan bakar sehingga yang mempengaruhi kecepatan api laminer adalah penambahan dan pengurangan fraksi mol udara dan jenis gas yang digunakan dalam simulasi.

4.4.2 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Tinggi api Laminer



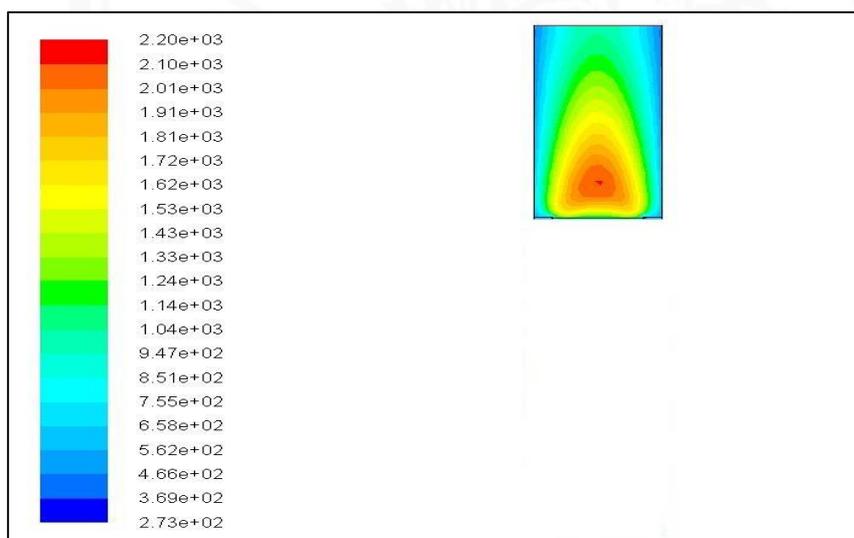
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap tinggi api laminer

Pada Gambar 4.7 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan ekuivalen rasio terhadap tinggi api pada setiap variasi bahan bakar. Dimana grafik dengan warna biru mewakili butana, grafik dengan warna orange mewakili metana dan grafik dengan warna abu-abu mewakili propana. Untuk setiap variasi bahan bakar diuji dengan variasi nilai ekuivalen rasio sebesar 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6.

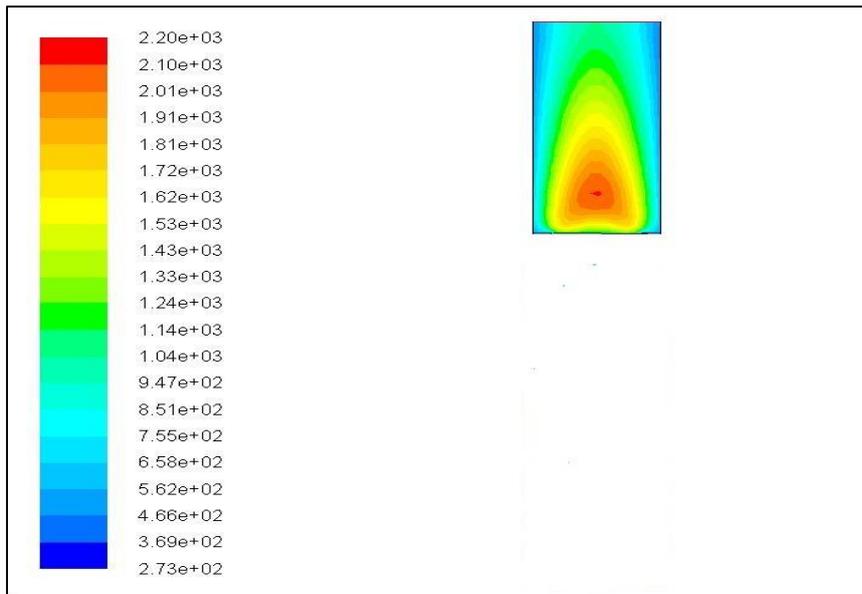
Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka tinggi api laminar akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio melebihi satu. Pada *bunsen burner* dengan variasi bahan bakar butana nilai tinggi api laminar secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4, dan 1,6 adalah sebesar 0 ; 7,22 ; 9,3 ; 9,61 ; 9,48 ; 9,39 dan 9,37. Sedangkan untuk bahan bakar metana nilai tinggi api secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4, dan 1,6 adalah sebesar 0 ; 8,25 ; 8,82 ; 9,41 ; 9,04 ; 8,99 dan 8,88. Kemudian untuk nilai tinggi api laminar untuk variasi bahan bakar gas propana secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4, dan 1,6 adalah sebesar 0 ; 8,02 ; 9,3 ; 9,71 ; 9,78 ; 9,58 dan 9,37. Kemudian nilai tinggi api berdasarkan variasi jenis bahan bakarnya propana memiliki nilai tinggi api yang paling tinggi dengan nilai ekuivalen rasio yang sama kemudian disusul butana dan yang terakhir metana.

4.4.3 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap Temperatur Api Laminar

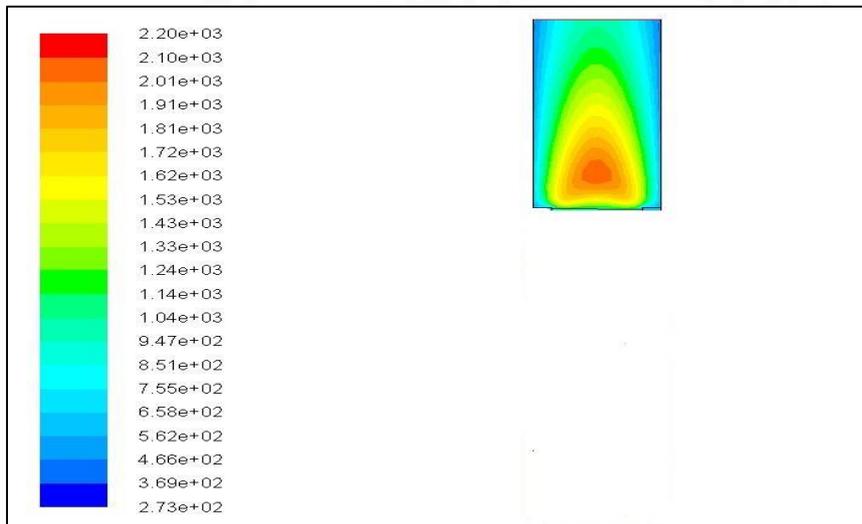
Distribusi temperatur pada ekuivalen rasio 1 dengan variasi bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 distribusi temperatur pada bahan bakar metana dengan ekuivalen rasio 1

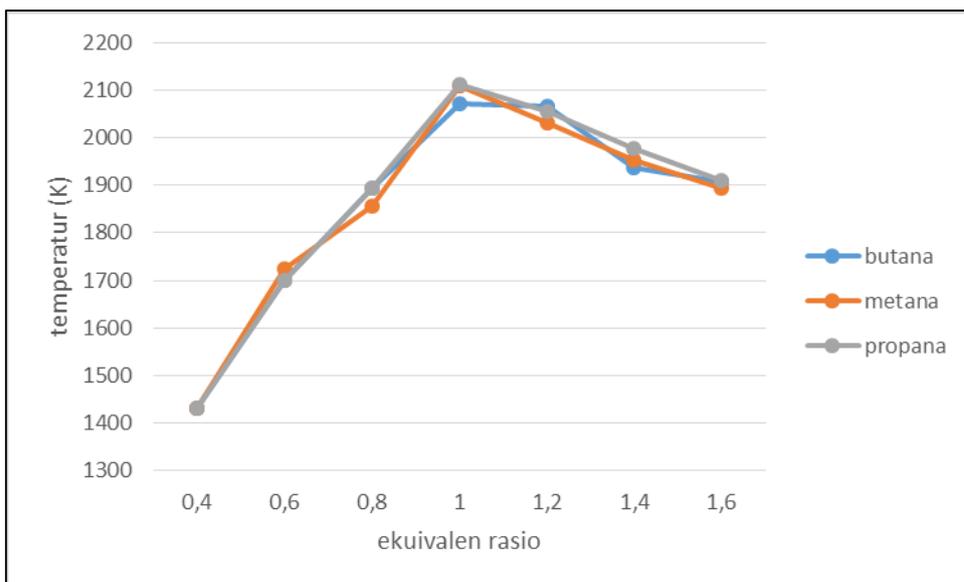


Gambar 4.9 distribusi temperatur pada bahan bakar propana dengan ekuivalen rasio 1



Gambar 4.10 distribusi temperatur pada bahan bakar butana dengan ekuivalen rasio 1

Dari Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 terlihat bahwa temperatur tertinggi berada pada ekuivalen rasio 1 dengan bahan bakar propana. Hal ini dikarenakan bahwa semakin kuat ikatan penyusun suatu bahan bakar maka energi yang dihasilkan akan semakin besar. Untuk lebih memudahkan distribusi temperatur akan ditampilkan seperti grafik dibawah:



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Ekuivalen Rasio terhadap temperatur api

Pada Gambar 4.11 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan ekuivalen rasio terhadap temperatur api laminar pada setiap variasi bahan bakar. Dimana grafik dengan warna biru mewakili butana, grafik dengan warna orange mewakili metana dan grafik dengan warna abu-abu mewakili propana. Untuk setiap variasi bahan bakar diuji dengan variasi nilai ekuivalen rasio sebesar 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6.

Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka temperatur api akan semakin naik dan turun ketika ekuivalen rasio melebihi 1. Pada *bunsen burner* dengan variasi bahan bakar butana nilai temperatur api secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6 adalah sebesar 1432 K, 1700 K, 1895 K, 2070 K, 2067 K, 1938 K, dan 1906 K. Sedangkan untuk bahan bakar metana nilai temperatur api secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6 adalah sebesar 1432 K, 1724 K, 1856 K, 2108 K, 2032 K, 1954 K, dan 1894 K. Kemudian untuk nilai temperatur api untuk variasi bahan bakar gas propana secara urut berdasarkan nilai ekuivalen rasio 0,4 ; 0,6 ; 0,8; 1; 1,2 ;1,4, dan 1,6 adalah sebesar 1432 K, 1700 K, 1894 K, 2111 K, 2056 K, 1976 K, dan 1909 K. Kemudian nilai temperatur api berdasarkan variasi jenis bahan bakarnya propana memiliki nilai temperatur api yang paling tinggi dengan nilai ekuivalen rasio yang sama kemudian disusul metana dan yang terakhir butana.

Dari Gambar 4.11 terlihat bahwa temperatur api paling tinggi berada pada ekuivalen rasio 1 dimana ekuivalen rasio 1 merupakan pembakaran pada keadaan stokiometri yang berarti *air fuel rasio* stokiometri dan *air fuel rasio* aktual memiliki nilai yang sama.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut.

1. Nilai kecepatan api laminer, tinggi api laminer, dan temperatur api laminer tertinggi untuk semua variasi jenis gas berada pada ekuivalen rasio 1 atau dalam keadaan stokiometri yaitu pada jenis gas propana. Hal ini dikarenakan oleh semakin kuat ikatan penyusun suatu bahan bakar maka akan semakin besar pula energi yang dihasilkan.
2. Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka kecepatan api laminer akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio melebihi satu.
3. Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka tinggi api akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio melebihi satu.
4. Semakin besar nilai ekuivalen rasio maka temperatur api akan semakin naik dan turun pada ekuivalen rasio melebihi satu.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan pengembangan simulasi menggunakan *software* lain sehingga bisa membandingkan hasilnya yang paling mendekati dengan penelitian secara eksperimental.
2. Masih diperlukan penelitian yang lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y. & Michael A.B. 2006. *Thermodynamic: An Engineering Approach 5th*. New York: McGraw-Hills.
- Hariato, Agus. 2015. *Studi Eksperimen Pengaruh Pencampuran Gas HHO pada Gas LPG secara Premixed terhadap Bentuk Nyala Api Bunsen Burner*. Tanah Laut: Politeknik Negeri Tanah Laut.
- Harrell, Ghosh, & Bowden. 2000. *Simulation Using Promodel*. New York: McGraw-Hills.
- Wicaksono, Racmad. 2017. *Pengaruh Variasi Celah Slot Burner terhadap Karakteristik Nyala Api Hasil Pembakaran Premix Metana*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Muhaya, Syamsul. 2015. *Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Tipe Silinder*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Pranoto, Bayu. 2012. *Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Kapuk pada Burner*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Turkelli, Zerrin. 2015. *Two-Dimensional Simulation of Premixed Laminar Flame at Microscale*: Chemical Engineering Science. 138 (2015): 414-431.
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Dinar Wijaya. Brawijaya University Press: Malang.