

PENGARUH KADAR UAP AIR TERHADAP KECEPATAN API LAMINER DENGAN BAHAN BAKAR METANA

Dedy Pribadi Siagian, Agung Sugeng Widodo, Francisca Gayuh U.D

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

JL M.T Haryono 9C No. 271B, Malang 65145, Indonesia

Email : dedy.siagian96@gmail.com

ABSTRAK

Sekarang ini kebutuhan akan bahan bakar semakin meningkat, oleh karena akan bahan bakar semakin sulit dicari atau langka. Keterbatasan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharukan menjadi persoalan karena bahan bakar ini tidak lepas dari kehidupan kita, jika pemerintah mengeksplorasi secara berkelanjutan akan menimbulkan masalah yang lebih besar yaitu krisis bahan bakar. Karena itu banyak penelitian penelitian ilmiah yang mencari solusi atas permasalahan krisis bahan bakar dengan mencari bahan bakar alternatif sebagai energi terbarukan yang ketersediaannya di alam masih cukup. Metana) dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena persediaannya yang masih mencukupi, ramah lingkungan dan masih mudah didapat di masyarakat Kecepatan api laminar merupakan sebuah parameter penting dalam masalah pembakaran dikarenakan berisi informasi mendasar mengenai reaktivitas, difusivitas, dan exothermicity. Kecepatan api laminar dipengaruhi juga oleh uap air. Uap air adalah gas yang berasal dari proses pemanasan air (H_2O). Disamping itu kadar uap air lingkungan dapat mempengaruhi pembakaran. semakin besar kadar uap air dalam sebuah daerah maka panas yang dihasilkan pembakaran akan semakin tinggi. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kadar uap terhadap kecepatan api laminar gas Metana. Pada penelitian ini menggunakan Bunsen burner dikarenakan pembuatan alat yang juga relatif lebih mudah. Variabel bebas pada penelitian ini adalah Nilai Equivalence reaktan sebesar : 0,762 ; 0,802 ; 0,923 ; 1,05 ; 1,128 ; 1,385 dan kadar uap air sebesar: 7,35% ; 13,70% ; 16,56% ; 19,23% ; 21,74% ; 24,10% dan 28,41%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan api laminar (S_L) menurun seiring meningkatnya kadar uap air, selain itu semakin tinggi equivalence ratio maka kecepatan api laminar (S_L) semakin menurun, tinggi api semakin menurun, sedangkan temperatur nyala api meningkat sampai equivalence ratio mendekati 1 kemudian kembali turun seiring kenaikan equivalence ratio.

Kata Kunci : *Bunsen burner, Equivalence Ratio, Kadar Uap Air, Karakteristik Nyala Api, Metana.*

Pendahuluan

Semakin lama kebutuhan terhadap pembakaran semakin banyak seperti pada bidang industri, bidang permesinan, dan bidang yang lainnya (Firmansyah, 2008). Hal tersebut dikarenakan pembakaran sangat erat hubungannya dengan proses produksi dan mekanisme konversi energi. [1]

Pembakaran adalah proses konversi energi yang merubah energi kimia menjadi energi mekanik. Pembakaran merupakan proses reaksi oksidasi kimia antara udara atau oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan kalor atau panas. Pembakaran dapat terjadi jika syarat-syaratnya terpenuhi yaitu bahan bakar, oksigen (O_2) dan panas sebagai energi aktivatornya. Panas bertujuan untuk

mengaktivasi molekul campuran bahan bakar dan oksigen (O_2). Jika diantara salah satu syarat tidak terpenuhi maka pembakaran tidak akan dapat terjadi.

Dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar gas metana. Sebagai pertimbangannya karena gas metana adalah salah satu gas alam yang melimpah di bumi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar utama. Disamping itu hasil pembakaran gas metana sangat sedikit dalam menghasilkan produk buangan seperti karbon dioksida (CO_2).

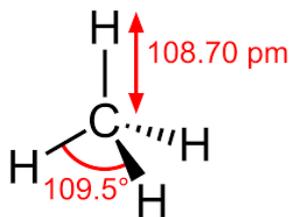
Kecepatan api laminar adalah salah satu tolak ukur penting dalam proses pembakaran karena berhubungan langsung dengan reaktivitas, difusivitas dan *exothermicity*. Data tersebut merupakan

informasi penting dalam perancangan mesin pembakaran turbulen.

Kadar uap air (kelembaban) lingkungan juga dapat mempengaruhi pembakaran. Semakin besar kadar uap air dalam suatu daerah maka panas yang dihasilkan pembakaran akan semakin rendah dan sebaliknya. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian terhadap pengaruh kadar uap air (kelembaban) dengan menggunakan metode *bunsen burner* karena rangkaian alat yang lebih mudah dibuat dan dioperasikan.

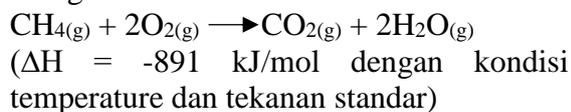
Metana

Metana adalah gas hidrokarbon yang paling sederhana dengan rumus kimia CH₄. Metana merupakan komponen dengan persentase terbanyak pada gas alam yang memiliki sifat mudah terbakar. Hasil pembakaran metana menghasilkan karbon dioksida yang sangat rendah dibandingkan jenis gas alam lainnya sehingga metana sangat ramah lingkungan dan sering dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Metana memiliki ciri-ciri tidak berbau dan tidak berwarna, sehingga jika digunakan untuk keperluan komersial metana biasanya ditambah sedikit bau belerang untuk mengetahui apabila terjadi kebocoran. [2]



Gambar :Struktur kimia metana

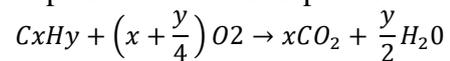
Satu molekul metana dengan oksigen jika dilakukan proses pembakaran akan menghasilkan dua molekul air (H₂O) dan satu karbondioksida (CO₂), dengan reaksi sebagai berikut :



Pembakaran dan Reaksi Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runutan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang disertai dengan produksi panas dan adanya cahaya sehingga disebut juga dengan proses oksidasi eksotermis. Pembakaran dapat berlangsung jika mempunyai komponen bahan bakar, pengoksidasi (berupa oksigen atau udara) dan panas sebagai energi aktivasi. [3]

Pada umumnya pembakaran hidrokarbon dan oksigen sebagai oksidator memiliki persamaan reaksi seperti berikut :



Reaksi pembakaran menghasilkan banyak jenis dan bentuk yang bermacam-macam. Namun, terdapat dua hal yang pasti terjadi saat pembakaran berlangsung. Dua hal tersebut adalah :

1. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu, dan perubahan ini disebabkan oleh terjadinya proses pada tingkat molekul
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah lepas kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikatan dilepas kedalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi.

Klasifikasi Nyala Api

Nyala api dapat diklasifikasikan dari aspek berdasarkan keadaan oksidator dan bahan bakar yang mencapai daerah reaksi dan aspek alirannya. Berdasarkan keadaan oksidator dan bahan bakar yang mencapai daerah reaksinya nyala api diklasifikasikan menjadi nyala non *premix*, *partially premixed*, dan *fully premixed*. Berdasarkan alirannya nyala api dibagi menjadi dua yaitu nyala api laminar dan nyala api turbulen.

Dalam pembakaran *premixed* hal yang paling berpengaruh adalah perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara untuk menentukan hasil pembakaran. perbandingan campuran

bahan bakar dan udara dapat dihitung melalui parameter yang sering digunakan yaitu *Air Fuel Ratio* (AFR), *Fuel Air Ratio* (FAR), dan Rasio Ekuivalen (Φ).

Air Fuel Ratio (AFR)

Merupakan perbandingan antara bahan bakar dengan mol udara atau massa. Percampuran antara bahan bakar dan udara sangat berpengaruh terhadap hasil pembakarannya. Campuran stokiometrik dalam persamaan AFR :

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \quad [4]$$

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}}$$

Keterangan:

AFR = Rasio udara dan bahan bakar kondisi stokiometrik

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

N_{udara} (mol) = Jumlah mol udara

$M_{bahan\ bakar}$ (kg) = Massa bahan bakar

M_{udara} (kg) = Massa udara

Dengan persamaan [4] dapat dihitung nilai AFR berdasarkan mol bahan bakar metana (CH_4) sebesar :

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} = \frac{2(1 + 3,7)}{1} = 9,52 \frac{mol_{udara}}{mol_{bahan\ bakar}}$$

Diketahui massa udara = 28.97 kg/kgmol dan massa metana (CH_4) = 16 kg/kgmol, maka nilai AFR sebesar :

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} = 9,52 \frac{28,97}{16} = 17,2 \frac{kg_{udara}}{kg_{bahan\ bakar}}$$

FAR (Fuel Air Ratio)

Besar FAR adalah kebalikan dari nilai AFR sendiri dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FAR = \frac{m_{bahan\ bakar}}{m_{udara}} \text{ atau } \frac{1}{AFR}$$

Equivalence Ratio (Φ)

Rasio ekuivalen adalah perbandingan antara *air fuel ratio* (AFR) stokiometrik dengan *air fuel ratio* (AFR) aktual :

$$\Phi = \frac{AFR(\text{stoikiometri})}{AFR(\text{aktual})}$$

Jika $\Phi > 1$ kelebihan bahan bakar sehingga campuran kaya akan bahan bakar

Jika $\Phi = 1$ merupakan campuran stokiometrik

Jika $\Phi < 1$ merupakan campuran yang miskin akan bahan bakar

Api Premixed Laminer

Pembakaran *premixed* merupakan pembakaran yang bahan bakar dan oksidator tercampur sempurna dan kemudian terbakar di zona reaksi. Pembakaran *premixed* bereaksi secara cepat dan terjadi biasanya pada tekanan yang tetap.

Api *premixed* laminar biasanya dapat ditemukan pada api bunsen dan api *premixed* yang merambat pada tabung pembakaran. dalam tabung dimasukkan campuran bahan bakar dan oksidator.

Pada kenyataannya , api yang dihasilkan oleh cara tersebut tidak stabil dan butuh alat untuk menstabilkannya atau *burner* yang akan berinteraksi dengan proses aliran dan pembakaran. Dalam tabung api *premixed* berbentuk lembaran datar tipis dan merambat tegak lurus terhadap reaktan. Sedangkan pada bunsen, *premixed* berbentuk kerucut dengan dinding kerucut adalah permukaan api *premixed*. Kerucut yang dihasilkan *bunsen burner* ada dua yaitu kerucut sebelah dalam dan kerucut sebelah luar. Kerucut api sebelah dalam (dekat bibir *burner*) merupakan kerucut api *premixed* sedangkan kerucut api sebelah dalam adalah kerucut api difusi. [5]

Kecepatan Api Laminer

Kecepatan api laminar bisa didefinisikan sebagai kecepatan normal reaktan *premixed* yang mengalir ke dalam zona api

$$S_L = v \cdot \sin \alpha$$

dengan:

S_L = kecepatan api laminar (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)
 α = sudut api yang terbentuk ($^{\circ}$)
 Nilai dari kecepatan reaktan/kecepatan pembakaran sendiri dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b}$$

dengan:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar (cm³/s)
 Q_{air} = debit aliran udara (cm³/s)
 A_b = luas bagian melintang *burner* (cm²)

Flashback dan Liftoff pada Api Premixed

Flashback dapat diartikan sebagai kejadian dimana kecepatan campuran lebih lambat dari kecepatan pembakarannya. Sehingga nyala api kembali masuk kearah tabung pembakaran tanpa mengalami *quenching* (pendinginan).

Hal ini terjadi ketika campuran reaktan yang cukup kaya secara tiba-tiba kecepatan alirannya dikurangi atau langsung ditutup. Kecepatan nyala api akan meningkat seketika dan secara langsung merambat kearah selang dan masuk kedalam tabung kestabilan *flashback* gas CH₄ lebih tinggi dibandingkan bahan bakar hidrokarbon lainnya karena tingginya kecepatan api H₂ pada bahan bakar hidrokarbon yang tidak dimiliki gas CH₄.

Liftoff adalah keadaan dimana nyala api tidak menyentuh permukaan tabung pembakaran, tetapi nyala api tetap stabil pada jarak tertentu dari mulut tabung. Kejadian ini bergantung pada keadaan api dan aliran yang terjadi didekat mulut tabung pembakar. Pada kecepatan yang pelan, api akan menyentuh mulut nosel. Saat kecepatan reaktan ditingkatkan maka sudut api juga akan semakin mengecil dan hulu api semakin menjauhi bibir nosel (*lifted*) hingga akhirnya api akan padam karena kecepatan reaktan jauh lebih tinggi dibanding kecepatan nyala api (*blowoff*). [6]

Kadar Uap air

Kelembaban udara dapat diartikan sebagai konsentrasi uap air yang dimuat dalam udara. Semakin hangat suhu udara pada suatu wilayah maka kelembaban udara akan meningkat. Sebaliknya semakin rendah suhu udara suatu wilayah maka kelembaban udara akan menurun. Alat yang digunakan untuk menghitung kelembaban udara disebut hygrometer.

1. Kadar Uap Air Absolut/ Mutlak

Didefinisikan sebagai massa dari uap air pada volume tertentu campuran udara atau gas, dan umumnya dilaporkan dalam gram per meter kubik (g/m³).

$$HA = \frac{m_{H_2O}}{V}$$

Dimana :

P_A : Kadar uap air Absolut
 m_{H_2O} : Massa uap air
 V : Volume udara

2. Kadar Uap Air Relatif

Membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau disebut kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara.

$$RH = \left(\frac{e_a}{e_s}\right) \times 100\%$$

Keterangan :

RH : Kadar uap air Relatif
 e_a : Kandungan Uap Air
 e_s : Kapasitas Udara

Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode Penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mengetahui hubungan sebab akibat dengan menggunakan satu atau lebih kelompok perlakuan dan membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kontrol yang digunakan sebagai pembanding. Dalam hal ini akan dilihat bagaimana pengaruh jumlah *Equivalence*

Ratio dan kadar uap air terhadap kecepatan pembakaran pada Bunsen dengan pembakaran premixed gas metana (CH₄) dengan melihat visualisasi dan distribusi api.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam yaitu:

1) Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian . Dalam hal ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Nilai *Equivalence Ratio* antara campuran udara dan gas LPG sebesar : 0,84; 1,02 ; 1,12 ; 1,35 ; 1,68 ; 2,8
- Kadar uap air sebesar : 7,35% ; 13,70% ; 16,56% ; 19,23% ; 21,74% ; 28,41%.

2) Variabel terikat (*dependent variabel*)

Variabel hasil yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, nilai dari variabel ini tergantung pada nilai variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah dimensi api, kecepatan api laminar dan Temperatur api (LPG).

3) Variabel terkontrol

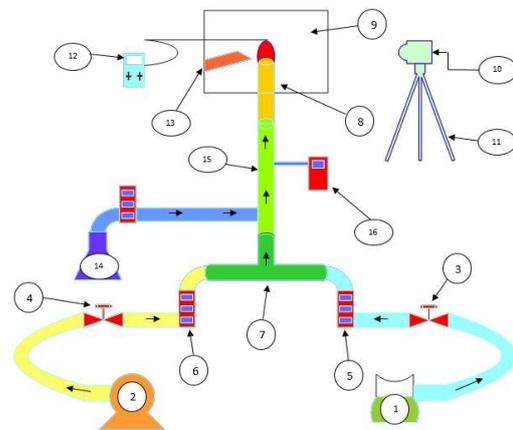
variabel yang ditentukan oleh peneliti, dan nilainya dikondisikan konstan, berikut:

- Debit Aliran bahan bakar yang masuk ke dalam *burner* sebesar 0.167 NL/min

Prosedur Penelitian

1. Memasang Selang dengan Mixing Chamber dan Burner yang akan digunakan
2. Mengatur Nilai debit bahan bakar yang masuk sebesar 0.167 NL/min
3. Pada flowmeter atur debit bahan bakar dan udara. Debit aliran di sesuaikan dengan kondisi stoikiometri dengan *equivalence ratio* yang telah ditentukan sebelumnya.

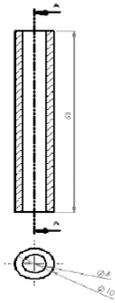
4. Menyalakan api pada kondisi tersebut dengan pemantik api
5. Tunggu hingga nyala api stabil dan catat debit udara serta bahan bakar yang tertera pada *flowmeter*.
6. Lakukan pengambilan data visual setelah bentuk nyala api laminar terbentuk. Tiap rasio ekuivalen didapatkan minimal 3 data gambar nyala api laminar.
7. Ukur temperatur api yang menyala menggunakan *thermocouple*.
8. Ulangi langkah 2-7 untuk rasio ekuivalen berikutnya.



Gambar 1 Instalasi penelitian

Keterangan,

1. Tabung Bahan bakar
2. Kompresor Udara
3. Katup Bahan Bakar
4. Katup Udara
5. *Flowmeter* Bahan Bakar
6. *Flowmeter* Udara
7. Mixing Chamber
8. Bunsen Burner
9. Kotak Hitam
10. Kamera
11. Tripod
12. *Thermocouple*
13. Pemantik
14. *Slot Burner*
15. Selang

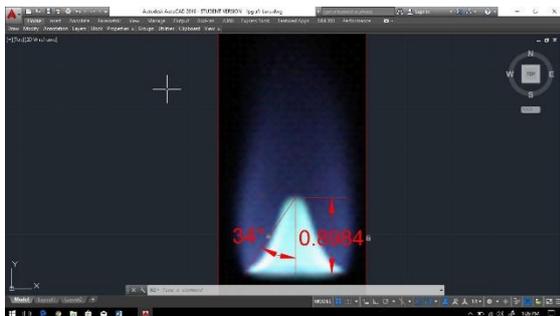


Gambar 2 *Bunsen Burner*

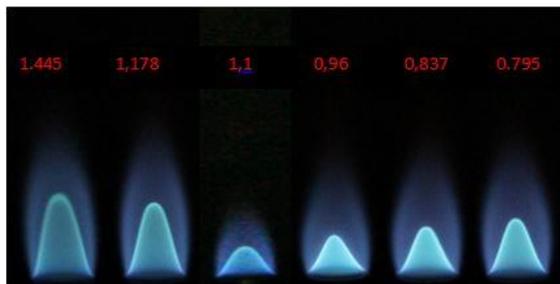
Bunsen burner dibuat menggunakan material kuningan berdiameter dalam 10 mm dan panjang 100 mm. Hal tersebut karena pada *bunsen burner* panjangnya harus 10 kali diameter untuk pembakaran.

Hasil Pengujian dan Pembahasan

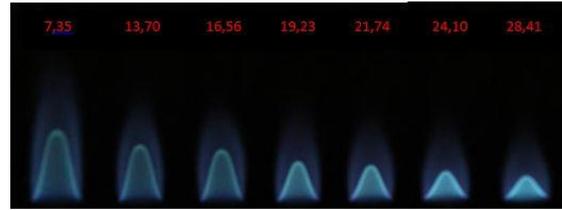
Visualisasi api pembakaran premixed *Bunsen burner* dilakukan dengan mengatur flowmeter bahan bakar pada 0,16 NL/min dan mengatur bukaan flowmeter udara pada 1,1 NL/min; 1,35 NL/min; 1,45 NL/min ; 1,65 NL/min; 1,9 NL/min ; 2 NL;/min. Setelah itu dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera dan diolah menggunakan aplikasi Auto CAD 2016 untuk mendapatkan tinggi api dan sudut api yang terbentuk.



Gambar 3 Perhitungan sudut api pada nyala api Bunsen burner



(a)



(b)

Gambar 4 (a) Nyala api variasi *equivalence ratio* ; (b) Nyala api variasi kadar uap air

Nyala api dengan variasi kadar uap air sebesar 0,1 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3 ; 0,35 ; 0,4 dan 0,5. Data tersebut diambil dengan nilai *equivalence ratio* tetap yaitu sebesar 1,445.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Nyala Api

Tabel 4.3 : Tabel Data Karakteristik Nyala Api Variasi *Equivalence Ratio*

Data Karakteristik Nyala Api Variasi					
ϕ	Tujung (°C)	Tengah (°C)	S_L (cm/s)	Tinggi api (cm)	Kadar Uap Air (%)
0,795	959	935	22,38	1,22	10
0,837	1006	963	25,81	1,02	10
0,96	1041	977	26,35	0,67	10
1,1	1061	1011	26,93	1,23	10
1,178	1055	991	13,39	1,58	10
1,445	1018	960	9,72	1,83	10

Tabel 4.4 : Tabel Data Karakteristik Nyala Api Variasi Kadar Uap Air

Data Karakteristik Nyala Api Variasi Kadar Uap Air				
Kadar Uap Air	Tujung (°c)	Tengah (°c)	S_L (cm/s)	Tinggi api (cm)
0,1	1081	997	19,03	1,93
0,2	1148	1058	17,24	1,76
0,25	1160	1079	16,64	1,76
0,3	1177	1094	15,96	1,44
0,35	1192	1105	14,67	1,26
0,4	1210	1130	14,67	1,15
0,5	1228	1155	14,04	1,01

Pada data karakteristik nyala api dengan variasi *equivalence ratio* dapat dilihat bahwa jika *equivalence ratio* mendekati 1 maka temperatur api juga meningkat dan kembali menurun setelah *equivalence ratio* melewati 1, sama halnya dengan kecepatan api laminer yang semakin besar seiring meningkatnya *equivalence ratio* mendekati 1 dan kembali menurun setelah melewati 1, sedangkan tinggi api menurun saat *equivalence ratio* mendekati 1 dan kembali membesar saat setelah melewati 1.

Karakteristik nyala api dengan variasi kadar uap air menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kadar uap air maka temperatur api mengalami peningkatan. Disamping itu nilai tinggi api dan

Kecepatan api laminar mengalami penurunan dikarenakan kecepatan reaktan yang melambat dikarenakan kenaikan kadar uap air.

Tabel 3 Bilangan *Reynolds*

Tabel 4.5 Tabel Bilangan *Reynolds* Variasi *Equivalence Ratio*

<i>Equivalence Ratio</i> (Φ)	Bilangan <i>Reynolds</i>
0,762	293,35
0,802	279,81
0,923	245,96
1,050	218,88
1,128	205,35
1,385	171,50

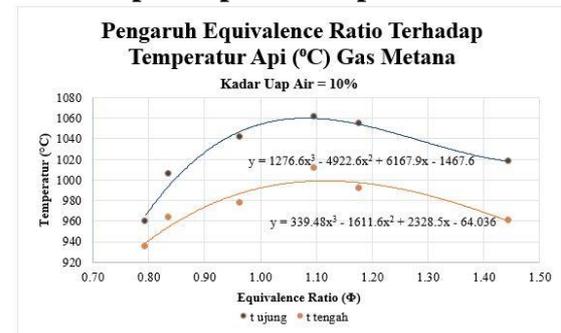
Tabel 4.6 Tabel Bilangan *Reynolds* Variasi Kadar Uap Air

Kadar Uap Air (%)	Bilangan <i>Reynolds</i>
7.32	237,24
13.63	236,07
16.48	236,36
19.14	235,01
21.65	233,45
24.00	233,78
28.30	232,97

Pada tabel 3 ditunjukkan bilangan *Reynolds* pada setiap variasi *Equivalence Ratio* yang telah didapat sebelumnya. Sesuai dengan tabel, bilangan *Reynolds* mengalami penurunan seiring meningkatnya *Equivalence Ratio*. Hal tersebut disebabkan oleh semakin kecilnya *Equivalence Ratio* maka kecepatan reaktan pun menurun yang juga mengakibatkan penurunan bilangan *Reynolds*.

Tabel diatas memperlihatkan pengaruh kadar uap air terhadap bilangan *Reynolds* pada aliran fluida. Ditunjukkan pada tabel bahwa bilangan *Reynolds* relatif stabil. Hal tersebut dikarenakan *equivalence ratio* yang digunakan adalah sama. Bilangan *Reynolds* mengalami penurunan kecil diakibatkan pengaruh kadar uap air yang semakin meningkat, karena kadar uap air dapat menghambat kecepatan aliran reaktan.

Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Temperatur Api



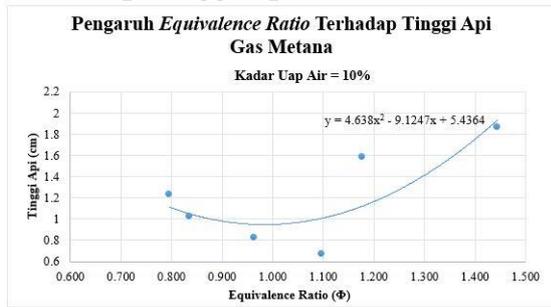
Gambar 5 Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Temperatur Api

Dapat dilihat temperatur api pada variasi *equivalence ratio* cenderung meningkat seiring meningkatnya *equivalence ratio*. Urutan temperature ujung api berdasarkan *equivalence ratio* terendah hingga tertinggi adalah 959 ; 1006 ; 1041 ; 1061 ; 1051 ; 1018 dan pada temperatur tengah api adalah 935 ; 963 ; 977 ; 1011 ; 991 ; 960, nilai dalam satuan (°C).

Pada data ditunjukkan nilai temperature api *premixed* cenderung mengalami kenaikan saat mendekati nilai *equivalence ratio* 1 dikarenakan campuran reaktan semakin maksimal dan terbakar hampir sempurna, namun setelah melewati 1 temperatur akan kembali menurun yang diakibatkan oleh kurangnya udara sebagai campuran reaktan membuat pembakaran tidak baik.

Pada grafik juga ditunjukkan bahwa temperatur ujung lebih tinggi dibandingkan temperature tengah api. Hal tersebut dikarenakan reaksi pembakan dimulai dari bibir *bunsen* menuju ujung api sehingga temperatur semakin tinggi.

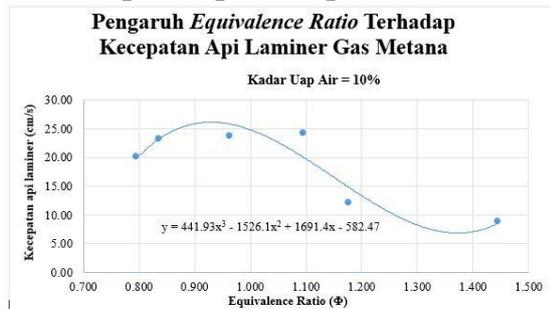
Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi Api



Gambar 6 Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi Api

Peningkatan tinggi api dikarenakan *equivalence ratio* mendekati 1 menyebabkan kadar reaktan semakin bercampur sempurna dan mengakibatkan kecepatan pembakaran meningkat yang dapat menurunkan tinggi api. Penurunan kadar udara di dalam reaktan (*equivalence ratio* melewati 1) menyebabkan banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna sehingga sisa bahan bakar bercampur secara difusi yang menyebabkan api menjadi lebih tinggi.

Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Api Laminar

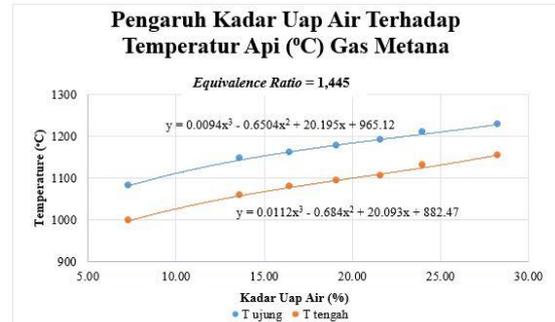


Gambar 7 Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Api Laminar

Pada persamaan (2-5) kecepatan api laminar dipengaruhi oleh kecepatan reaktan dan sudut yang dihasilkan pada nyala api. Semakin kecil *equivalence ratio* maka kecepatan reaktan semakin meningkat, namun disamping itu sudut api yang terbentuk akan semakin besar saat mendekati *equivalence ratio* 1 dan akan mengecil kembali setelah melewati 1. Hal tersebut dikarenakan pembakaran yang

semakin sempurna membuat tinggi api semakin kecil dan sudut yang terbentuk pun akan semakin besar.

Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Temperatur Api

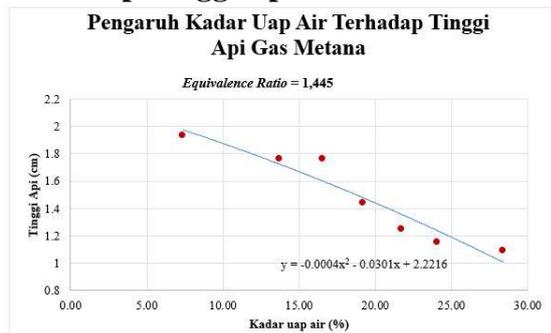


Gambar 8 Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Temperatur Api

Dapat dilihat temperatur api pada variasi kadar uap air cenderung meningkat seiring meningkatnya kadar uap air. Urutan temperature ujung api berdasarkan kadar uap air terendah hingga tertinggi adalah 1081 ; 1148 ; 1160 ; 1177 ; 1192 ; 1210 ; 1228 dan temperatur tengah adalah 997 ; 1058 ; 1079 ; 1094 ; 1105 ; 1130 dan 1155 dengan satuan dalam (°C).

Temperatur yang dihitung pada penelitian dengan variasi kadar uap air terus mengalami peningkatan dari kadar uap air terkecil hingga terbesar. Hal tersebut sesuai dengan hipotesis yang penulis utarakan bahwa semakin meningkatnya kadar uap air maka temperatur nyala api akan semakin meningkat, dimana kejadian ini diakibatkan oleh terpisahnya H_2 dari ikatannya (H_2O) saat terjadi pembakaran dimulut *bunsen*.

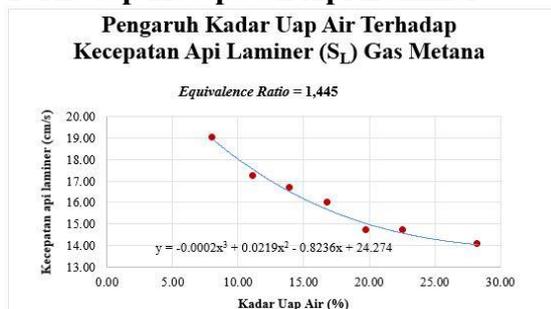
Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Tinggi Api



Gambar 9 Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Temperatur Api

Dapat dilihat pada grafik bahwa semakin besar persen uap air yang dimiliki oleh reaktan maka tinggi api juga relatif semakin menurun dimana tinggi api yang terbentuk sebesar 1,93 ; 17,6 ; 1,76 ; 1,44 ; 1,25 ; 1,15 dan 1,09 dalam satuan cm. Hal tersebut dipengaruhi oleh kadar uap air dimana kadar uap air yang meningkat dapat menghambat kecepatan pembakaran karena uap air memiliki viskositas (kekentalan) molekul yang relatif tinggi yang menyebabkan tinggi api menurun.

Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Kecepatan Api Laminar



Gambar 10 Grafik Pengaruh Kadar Uap Air Terhadap Kecepatan Api Laminar

Pada grafik ditunjukkan bahwa semakin besar persentase kadar uap air maka kecepatan api laminar (S_L) juga relatif menurun dimana nilai kecepatan api laminernya adalah 19,03 ; 17,27 ; 16,64 ; 15,96 ; 14,67 ; 14,67 ; 14,04 dengan satuan cm/s. Hal ini disebabkan oleh kadar uap air yang meningkat akan semakin menghambat laju pembakaran yang berarti

menurunkan kecepatan reaktan. Hal tersebut dikarenakan uap air relatif sulit untuk dibakar sehingga reaktan yang ada akan semakin sulit untuk terbakar karena telah berikatan sebelumnya dengan uap air yang mengalir bersamaan dengan reaktan.

Kesimpulan

Pada penelitian kali ini diambil beberapa kesimpulan dimana dari kesimpulan tersebut menjawab hipotesa yang telah di tulis pada Bab II. Penarikan kesimpulan mengacu pada data serta grafik pembahasan yang telah di buat pada Bab IV. Sehingga didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur nyala api mengalami peningkatan seiring meningkatnya kadar uap air, dimana kejadian ini diakibatkan oleh terpisahnya H_2 dari ikatannya (H_2O) saat terjadi pembakaran dimulut *bunsen*.
2. Tinggi api pada *bunsen* akan semakin mengecil dengan meningkatnya kadar uap air. Hal tersebut dipengaruhi oleh kadar uap air dimana kadar uap air yang meningkat dapat menghambat kecepatan pembakaran karena uap air memiliki viskositas (kekentalan) molekul yang relatif tinggi yang menyebabkan tinggi api menurun.
3. Kecepatan api laminar (S_L) mengalami penurunan seiring meningkatnya kadar uap air. Hal ini disebabkan oleh kadar uap air yang meningkat akan semakin menghambat laju pembakaran yang berarti menurunkan kecepatan reaktan. Hal tersebut dikarenakan uap air relatif sulit untuk dibakar sehingga reaktan yang ada akan semakin sulit untuk terbakar karena telah berikatan sebelumnya dengan uap air yang mengalir bersamaan dengan reaktan.
4. Pada variasi *equivalence ratio* temperatur nyala api meningkat ketika *equivalence ratio* mendekati 1 dan akan kembali menurun saat

setelah melewati 1. Sedangkan pada variasi kadar uap air dengan *equivalence ratio* tetap temperatur nyala api terus meningkat hingga sebelum api mengalami *blowoff*

Saran

Berdasarkan selama proses penelitian dan kesimpulan yang didapat, maka penulis menyampaikan beberapa hal untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dan hal untuk diperbaiki berdasarkan penelitian sebelumnya, antara lain:

1. Tinggi selang sebelum mencapai *bunsen burner* lebih diperhitungkan karena dapat mempengaruhi masa percampuran bahan bakar, udara dan uap air.
2. Dilakukan pengambilan data visual berupa gambar dengan jarak yang sama pada saat variasi *equivalence ratio* maupun variasi kadar uap air, supaya saat pengolahan data tidak mengalami kesulitan dalam memberikan skala ukuran.
3. Diberikan beberapa standarisasi diameter mulut *bunsen burner* untuk mengurangi kesalahan dalam pengambilan data.

Daftar Pustaka

- [1] Buffam, J. & Cox K.. 2008. *Measurement of Laminar Burning Velocity of Methane-Air Mixtures Using a Slot and Bunsen Burner*. Unpublished Thesis. Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute
- [2] Firmansyah, Rachmat Haris. 2008. *Penelitian Kestabilan dan Panjang Nyala Api Premixed*. Depok: Universitas Indonesia
- [3] Glassman, Irvin & Yetter, Richard A. 2008. *Combustion Fourth Edition*. Elsevier. Inc. California.
- [4] Katre, Vaishali & Bhele, S.K. 2013. *A Review Of Laminar Burning Velocity Of Gasses And Liquid Fuels. International Journal of Computational Research, Vol 03, Issue 7*.

- [5] Keneth, K. 2005. *Fundamentals of Turbulent and Multiphase Combustion*. Canada: John Willey and Sons.
- [6] Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Dinar Wijaya. Brawijaya University Press: Malang.