

## Perilaku Dan Kestabilan Nyala Api Pada Pembakaran Premixed Minyak Biji Kapas Terhadap Variasi Air Fuel Ratio

Dony Perdana<sup>1</sup>, Eddy Gunawan<sup>2</sup>, Buyung PS<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo

Korespondensi : dony\_perdana@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Meningkatnya jumlah penduduk yang berkembang pesat pada masyarakat Indonesia pada saat ini berdampak pada peningkatan sarana transportasi dan aktivitas industri yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kebutuhan dan konsumsi bakar minyak (BBM) yang bersumber dari fosil. Salah satu energi terbarukan yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif sederhana dan sesuai potensi wilayah Indonesia adalah minyak biji kapas, yang merupakan salah satu jenis tanaman yang mengandung minyak nabati dan potensial digunakan sebagai pengganti solar. Kandungan minyak biji kapas yang sangat kompleks terdiri dari beberapa rangkaian trigliserida asam lemak dan juga gliserol. Dimana masing-masing asam lemak punya karakteristik pembakaran sendiri, sehingga mempengaruhi karakteristik pembakaran minyak biji kapas secara keseluruhan, yang mana besarnya AFR juga berpengaruh pada perilaku dan kestabilan nyala api. Oleh karena itu perlu diketahui pengaruh AFR terhadap nyala api pada pembakaran minyak biji kapas. Penelitian ini dilakukan dengan membakar campuran uap minyak biji kapas dan udara pada nozzle dengan AFR tertentu hingga nyala api terangkat (*lift off*) kemudian padam (*blow off*). Berdasarkan data hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan AFR memberikan bentuk nyala api yang awalnya dominan berwarna nyala api kuning kemudian dominan menjadi nyala api biru sampai nyala api terangkat (*lift off*) kemudian nyala api padam (*blow off*). Kenaikan temperatur terjadi karena adanya perubahan AFR, temperatur tertinggi 799°C pada AFR 40 sedangkan temperatur terendah 447°C pada AFR 2.2. Perubahan AFR juga memberikan tinggi nyala api yang berbeda-beda, pada AFR 2.2 tinggi nyala api 68.44 mm sedangkan terendah tinggi nyala api pada AFR 35 sebesar 8.73 mm. Kecepatan reaktan terjadi pada AFR 40 sebesar 3880 cm/det, sedangkan kecepatan reaktan 300 cm/det terjadi pada AFR 2.2

Keywords: Minyak biji kapas, pembakaran premixed, nyala api premixed, air fuel ratio.

### ABSTRACT

*The increasing number of population is growing rapidly in Indonesian society at this time has an impact on improving transportation facilities and industrial activities which resulted in an increase in demand and consumption of fuel oil (BBM) sourced from fossils. One of the renewable energy that can be produced with appropriate technology that is relatively simple and in accordance with the potential of the Indonesian region is cotton seed oil, which is one type of plant that contains vegetable oil and is potentially used as a substitute for diesel fuel. The very complex content of cotton seed oil consists of a series of fatty acid triglycerides and glycerol. Where each fatty acid has its own combustion characteristics, thus affecting the combustion characteristics of cotton seed oil as a whole, which is the magnitude of AFR also influences the behavior and stability of the flame. Therefore, it is necessary to know the effect of AFR on flame on the burning of cottonseed oil. This research was carried out by burning a mixture of cotton seed oil vapor and air at a particular AFR nozzle until the flame was lifted (*lift off*) and then extinguished (*blow off*). Based on the results of the study, it was found that the addition of AFR gave a form of flame which was initially dominantly colored in a yellow flame and then dominantly turned into a blue flame until the flame was raised (*lift off*) then the flame went out (*blow off*). The increase in temperature occurs due to changes in AFR, the highest temperature is 799°C at AFR 40 while the lowest temperature is 447°C in AFR 2.2. The AFR changes also provide a different flame height, at AFR 2.2 the flame height is 68.44 mm while the lowest flame height on the AFR 35 is 8.73 mm. The reactant speed occurs at AFR 40 at 3880 cm / sec, while the reactant speed of 300 cm / sec occurs in AFR 2.2*

Keywords: Cotton seed oil, premixed combustion, premixed flame, air fuel ratio.

### 1. PENDAHULUAN (10 PT)

Konsumsi energi dunia yang terus meningkat dan berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil, diikuti dengan meningkatnya emisi polutan berdampak pada sektor lingkungan, salah satunya adalah pemanasan global. Untuk itu, perlu dicari sumber energi alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar diesel. Salah satu sumber energi alternatif yang kini banyak dikembangkan adalah minyak nabati. Penelitian di bidang ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam lemak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (biofuel) dan dapat diperbaharui (renewable). Perkembangan ini mencapai puncaknya dengan ditemukannya

alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel fosil yang dikenal dengan biodiesel. Sebagai substitusi dari bahan bakar fosil tersebut, terdapat berbagai minyak nabati yang dapat dikembangkan dan diteliti sebagai bahan bakar alternatif. Kebutuhan minyak kapas didukung oleh ketersediaan kapas di Indonesia yang sangat berlimpah. Minyak kapas mempunyai rantai karbon paling pendek diantara minyak nabati [1]. Struktur kimia minyak biji kapas mirip dengan petrodiesel sehingga sangat cocok untuk mesin diesel. Namun bila digunakan secara langsung mempunyai kelemahan seperti: viskositas tinggi, volatilitas rendah, reaktivitas rantai hidrokarbon tak jenuh, perlu pemanasan awal, aliran, atomisasi dan emisi partikel [2]. Minyak kapas terdiri dari komponen asam lemak dan gliserol yang mempunyai properties berbeda-beda. Minyak kapas merupakan salah satu dari minyak nabati, dimana 85% berupa asam lemak dan 15% gliserol. Asam lemak jenuhnya berupa caprylic 8.86%, capric 6.17%, lauric 48.83%, myristic 19.97%, palmitic 7.84%, stearic 3.06%, dan asam lemak tak jenuh berupa oleic 4.44%, linoleic 0.76% [3]. Bahan bakar fosil yang selama ini digunakan umumnya merupakan proses pembakaran premixed, dimana bahan bakar dan udara dicampur dalam satu chamber.

Pembakaran premixed banyak diteliti dengan berbagai perlakuan yang bertujuan untuk mengetahui perilaku kepunahan dan kecepatan api [4], api Bunsen dengan *open tip* [5], api *seluler* [6], dan api *triple* [7]. Pada nyala api *premixed*, oksidator telah dicampur dengan bahan bakar sebelum mencapai api terdepan. Reaksi menciptakan nyala api tipis karena semua reaktan sudah tersedia. Pembakaran *Premixed* mudah terbakar sebagian besar bahan bakar hidrokarbon dibatasi  $0,6 < \phi < 3$  [8]. Api *premixed* akan merambat menuju kearah reaktan dengan kecepatan unik, jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stasioner.

Dalam kesempurnaan pembakaran ada tiga hal yang mempengaruhinya seperti perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio / AFR*), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Pada *air fuel ratio* (AFR) terdapat campuran kaya dan campuran kurus, campuran kaya adalah campuran dimana jumlah bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan udara, sedangkan campuran kurus adalah campuran yang kekurangan bahan bakar atau kelebihan udara. Antara campuran kaya dan campuran kurus terdapat campuran *stoichiometry*, dimana perbandingan antara udara dengan bahan bakar dalam keadaan setimbang. Setiap perbandingan volume udara dengan bahan bakar menghasilkan emisi gas buang yang berbeda – beda. Perbandingan udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna akan berdampak terhadap gas buang dari proses pembakaran. Pembakaran *premixed* sering kali gagal atau tidak sempurna, karena tidak sesuai dengan syarat – syarat pembakaran seperti oksigen yang dipergunakan tidak cukup atau perbandingan campuran udara dengan bahan bakar tidak tepat, campuran antara udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna dan temperatur udara dengan bahan bakar terlalu rendah untuk membantu pembakaran. Pembakaran yang tidak sempurna ini akan berdampak terhadap energi yang diperoleh tidak akan maksimal bahkan akan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan atau polusi udara [9]. Pengetahuan yang akurat adalah penting untuk mendesain mesin, pemodelan pembakaran *turbulen*, dan validasi mekanisme kimia kinetika. *Air fuel ratio* (AFR) mempengaruhi efisiensi mesin, kinerja dan emisi polusi. Selama pembakaran, karena *air fuel ratio* (AFR) adalah merupakan proses kimia *air fuel ratio* (AFR) yang benar dari bahan bakar dan oksigen merupakan faktor yang sangat penting. *Air fuel ratio* (AFR) merupakan parameter penting untuk menunjukkan kualitas pembakaran. *Air fuel ratio* (AFR) yang lebih rendah akan menghasilkan hidrokarbon yang tidak terbakar yang merusak lingkungan. Salah satu metode untuk mengoptimalkan proses pembakaran adalah dengan mengatur nilai *air-fuel ratio* (AFR) yang digunakan pada proses pembakaran [10-12]. Berbagai penelitian sebelumnya tentang pembakaran dan penggunaan bahan bakar gas yang mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut: Kecepatan nyala terutama ditentukan oleh variasi perbandingan campuran udara dengan bahan bakar. Untuk bahan bakar hidrokarbon, puncak dari kecepatan api terjadi pada *stoichiometry* [8]. Eksperimental fenomena *flame lift-up*, dilakukan dengan alat *Flame Propagation Stability Unit*, bahan bakar gas propana dan burnernya tabung atau barell. Dinyatakan bahwa temperatur ujung burner tanpa *lift-up* mencapai maksimum mendekati AFR *stoichiometry*. Makin kurus campuran maka temperatur ujung burner juga cenderung makin menurun [13]. Pengaruh *air-fuel ratio* (AFR) terhadap efisiensi pembakaran telah dipelajari untuk pembakaran *MILD* [14] dan mesin pembakaran dalam berbahan bakar hidrogen [15,16]. Minyak kelapa murni maupun hidrolisis terjadi penurunan kecepatan pembakaran SL api *perforated* dan *bunsen* ketika *equivalence ratio* ( $\phi$ ) ditingkatkan Kecepatan pembakaran SL api *perforated* dan *bunsen* minyak jarak pagar menurun secara drastis dengan kenaikan *equivalence ratio* ( $\phi$ ) sedikit saja. Sedangkan pada minyak biji kapuk terjadi penurunan kecepatan pembakaran SL api *perforated* dan *bunsen* ketika *equivalence ratio* ( $\phi$ ) ditingkatkan [17]. Variasi *equivalence ratio* mempengaruhi pola api pembakaran *premixed* minyak jarak pagar dan udara. Dengan massa alir bahan bakar yang konstan, penambahan massa alir udara mempengaruhi perubahan *equivalence ratio* ( $\phi$ ). Penambahan massa alir udara yang semakin besar akan menyebabkan *difusivitas* massa reaktan lebih besar dari pada *difusivitas* panas, sehingga api akan mengalami *lift off* sampai pada akhirnya api akan padam. Disamping itu, pola api memberikan informasi pembakaran mendekati sempurna atau tidak. Warna biru mengindikasikan bahwa pembakarannya mendekati sempurna, sedangkan

warna kuning mengindikasikan banyak terdapat bahan bakar yang belum terbakar secara difusi dengan udara [18]. Atas dasar ini, maka perlu melakukan penelitian untuk mengetahui **perilaku dan kestabilan nyala api** dengan minyak biji kapas pada pembakaran premixed.

## 2. METODE PENELITIAN (10 PT)

Metodologi penelitian ini menggunakan metodologi penelitian eksperimental (*true experimental research*), yaitu melakukan dengan melakukan pengujian secara langsung pada obyek yang diteliti untuk memperoleh data sebab akibat melalui proses eksperiment sebuah peralatan yang ditunjukkan secara skematis pada gambar 1. Dalam hal ini perangkat penelitian dibuat dalam skala laboratorium. Pada proses pembakaran *premixed* minyak biji kapas pada *bunsen burner type sylinder*, dengan sistem mengisi bahan bakar minyak nabati sebesar 600 ml diuapkan dalam boiler dengan suhu dijaga konstan 300 °C. Uap minyak dari boiler dicampur dengan udara dari kompresor di ruang pencampuran. Campuran reaktan kemudian mengalir ke nosel dengan diameter 10mm. Percobaan dimulai dengan pemanasan minyak biji kapas (suhu 300 °C) sampai terbentuk uap di dalam *boiler*. Katup *inlet* bahan bakar dibuka dan katup *inlet* udara ditutup, kemudian api dipantik di ujung *burner* sehingga terbentuk api *difusi*. Beda ketinggian di *flowmeter* bahan bakar dicatat dan dijaga konstan. Proses selanjutnya katup *inlet* dibuka sedikit dan dicatat beda ketinggian di *flowmeter* serta gambar api diambil dengan menggunakan kamera. Dengan peningkatan bukaan katup *inlet* udara secara bertahap, maka setiap beda ketinggian di *flowmeter* udara dicatat dan api yang terbentuk diambil gambarnya. Data dan gambar diambil berkali-kali sampai api padam. Perbedaan ketinggian bahan bakar yang konstan dan udara yang berubah-ubah digunakan untuk menghitung rasio bahan bakar terhadap udara aktual (*actual air fuel ratio*). Hasil bentuk nyala api direkan menggunakan *camera hight speed 400 fps* kemudian diolah menggunakan *software free video to jpg converter* untuk menghasilkan potongan potongan foto nyala api. Hasil potongan foto nyala api tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat *image J* yang kemudian *ditransver* ke *corel draw* untuk mendapatkan sudut dan tinggi nyala api *premixed*. Pengukuran temperatur nyala api dilakukan dengan menempatkan *thermocouple type K* pada posisi ditengah tengah diameter *nozle* dengan jarak 2mm diatas ujung *burner*.

Tabel 1 Komposisi asam lemak, *glyserol*, getah dan air minyak biji kapas

Chemical Ccomposition	Chemical bond structure	Chemical oil composition (%) Cotton seed
Caprylic	8:00	-
Capric	10:00	-
Lauric	12:00	0,54
Myristic	14:00	0,78
Palmitic	16:00	21,13
Stearic	18:00	9,52
Arachidic	20:00	-
Oleic	18:01	16,23
Linoleic	18:02	43,09
Linolenic	18:03	-
Eicosanoic	20:01	-
Glycerol	3:00	5,32
Gum	5:00	3,12
Water		0,36
Total saturated fatty acid		32,37
Total monounsaturated fatty acid		16,23
Total poly unsaturated fatty acid		43,09
Total unsaturated fatty acid		59,32

Tabel 2 Sifat fisika minyak biji kapas

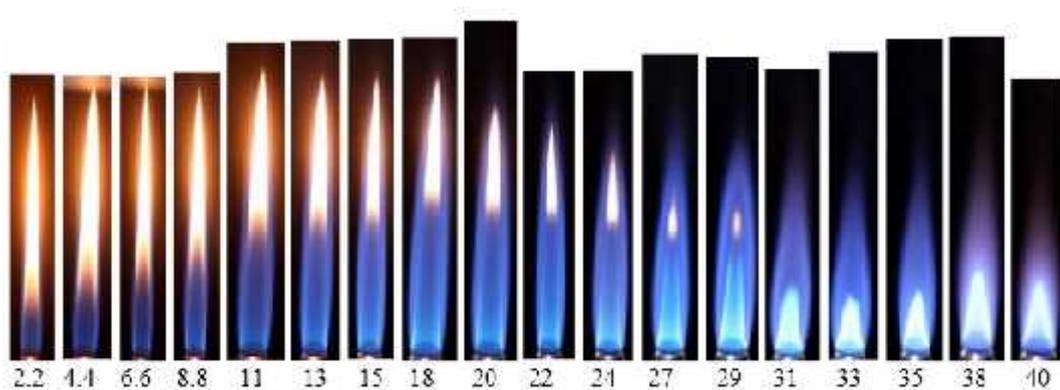
Property	ASTM metode	Instrument	Model	Cotton seed oil
Density at 40°C (kg/m <sup>3</sup> )	D1298	Hydrometer	Nikky, Japan	955
Kinematic viscosity at 40°C (cSt)	D445	Kinematic viscometer	Leybold, Didactic, Germany	41,65
Flash point (°C)	D93	Pensky-Martens closed cup tester	Leybold, Didactic, Germany	250
Caloric value (kcal/kg)	D240	Bom calorimeter	Parr Instrument UAS	9,478.87
pH	D6423	pHep tester	UAS HANNA Instrument UAS	4,0



Gambar. 1. Peralatan Eksperimen

### 3. HASIL DAN ANALISIS (10 PT)

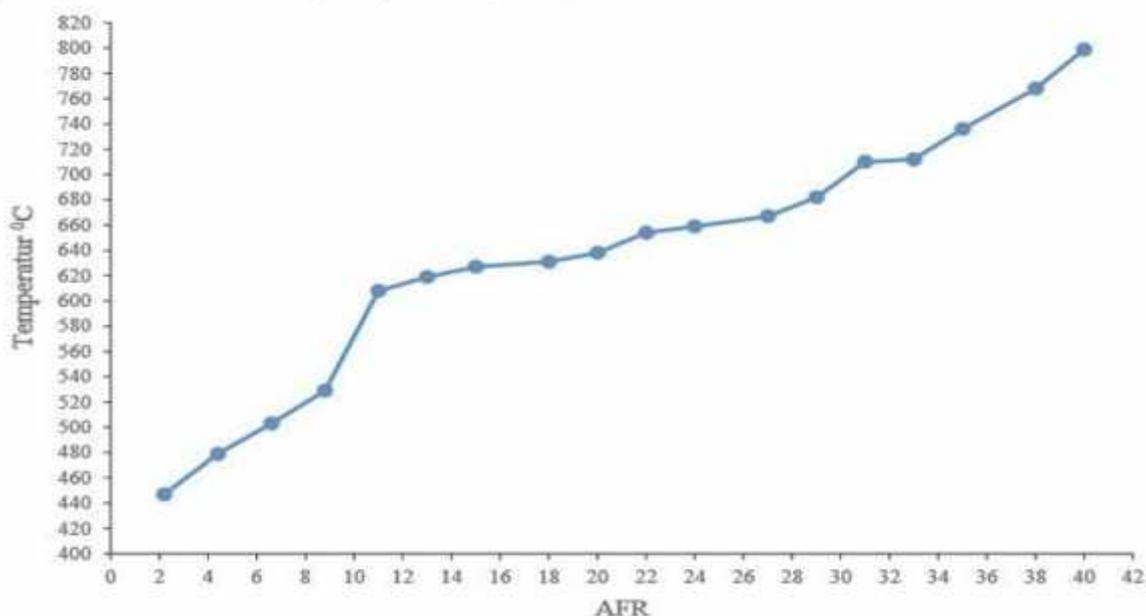
#### 3.1 Pengaruh Variasi AFR Terhadap Bentuk Nyala Api



Gambar. 2. Hubungan variasi AFR terhadap bentuk nyala api

Pada gambar 2 menunjukkan urutan poal nyala api dengan berbagai variasi AFR yaitu 2.2:1; 4.4:1; 6.6:1; 8.8:1; 11:1; 13:1; 15:1; 18:1; 20:1; 22:1; 24:1; 27:1; 29:1; 31:1; 33:1; 35:1; 38:1; 40:1. Warna nyala api berwarna kuning pada AFR yang rendah lebih dominan dibandingkan dengan warna nyala api biru. Warna nyala api kuning ini diakibatkan karena radiasi jelaga, dan disebut juga daerah *non stokiometry* dimana daerah tersebut ini rasio campuran antara bahan bakar dengan udara kurang dari 1 [19]. Akibat adanya radiasi karbon yakni jelaga mengakibatkan kecilnya kesempatan bahan bakar dan udara yang berperan sebagai oksidator untuk bertemu. Nyala api berwarna kuning menandakan pembakaran yang terjadi kurang atau menjauhi sempurna dimana didominasi oleh pembakaran difusi. Seiring dengan bertambahnya kenaikan nilai AFR maka warna nyala api berwarna biru didominasi pembakaran *premixed* hal ini menandakan pembakaran yang terjadi mendekati sempurna. Garis kerucut dalam pada nyala api mulai terbentuk pada AFR 18 hingga puncaknya AFR 40, kemudian secara perlahan lahan mengecil sehingga akhirnya terjadi *lift off* lalu padam. Dimensi api membesar seiring ditambahkan udara dikarenakan udara mengikat molekul bahan bakar lebih banyak sehingga fraksi bahan bakar pada permukaan api meningkat. Meningkatnya fraksi bahan bakar ini mengakibatkan bahan bakar yang belum terbakar sempurna semakin banyak sehingga bahan bakar yang terbakar secara difusi dengan udara sekitar meningkat menyebabkan api semakin menjulang ke atas. Penambahan udara berdampak pada kecepatan reaktan dan difusivitas massa meningkat. Molekul-molekul campuran udara dan bahan bakar saling bertumbukkan dan bergerak keluar nozzle dengan sangat cepat menyebabkan campuran udara dan bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya, banyak bahan bakar yang terlewat dan akhirnya terbakar secara difusi. Setelah AFR 13:1, yaitu mulai AFR 15:1 dimensi api mulai mengecil perlahan hingga akhirnya *padam*. Kondisi ini karena pembakaran telah mulai mendekati sempurna sehingga api difusi yang terbentuk perlahan mulai lenyap hingga akhirnya hanya api premixed saja yang terbentuk. Pada gambar pola api tersebut diatas bila kita amati api padam terlebih dahulu sebelum mencapai AFR stoikiometry. Hal ini dikarenakan efek pendinginan dari udara dimana udara menyerap kalor dari reaksi pembakaran yang terjadi sehingga zona pemanasan awalnya berkurang. Hal ini menyebabkan molekul campuran udara dan bahan bakar tidak cukup energi untuk berlangsungnya reaksi

### 3.2. Pengaruh Variasi AFR Terhadap Temperatur Nyala Api



Gambar.3. Hubungan variasi AFR terhadap temperatur nyala api

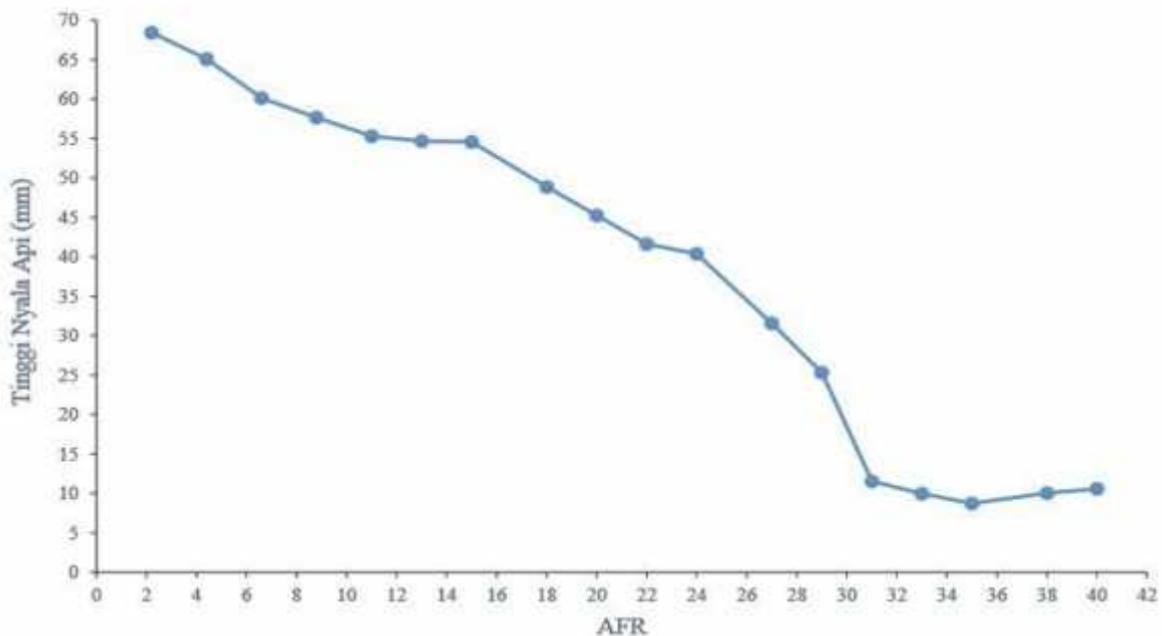
Gambar 3 ditunjukkan hubungan antara AFR terhadap temperature dari minyak kapas dengan variasi AFR . Semakin tinggi nilai AFR yang dihasilkan semakin tinggi pula temperatur yang terjadi. Temperatur tertinggi 799 0C pada AFR 40. Sedangkan temperatur yang paling rendah 447 0C terjadi pada AFR 2.2. Efisiensi pembakaran sering kali dikaitkan dengan temperature di dalam furnace [20].Pengaruh variasi AFR ini terhadap temperatur dikarenakan adanya zona reaksi pembakaran terjadi sehingga menghasilkan rambatan nyala api dari tepi burner menuju ke tengah burner. Variasi laju aliran udara pembakaran menyebabkan meningkatnya temperatur api oleh adanya excess air yang ditambahkan pada proses pembakaran. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3, peningkatan AFR memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi temperatur. Excess air mampu mengompensasi kebutuhan udara untuk menyempurnakan pencampuran antara

bahan bakar dan udara pembakaran. Semakin besar nilai AFR semakin tinggi juga temperatur yang terjadi hal ini diikuti terbentuknya nyala api kerucut dalam. Semakin tebal nyala api kerucut dalam semakin besar temperatur yang terjadi. Temperatur pada center burner (nozzle) lebih rendah karena daerah tersebut merupakan daerah pemanasan awal dimana menerima panas secara difusi dari zona reaksi. Pada daerah ini belum terjadi pembakaran atau belum terbentuk nyala api.



Gambar. 4. Tinggi nyala api

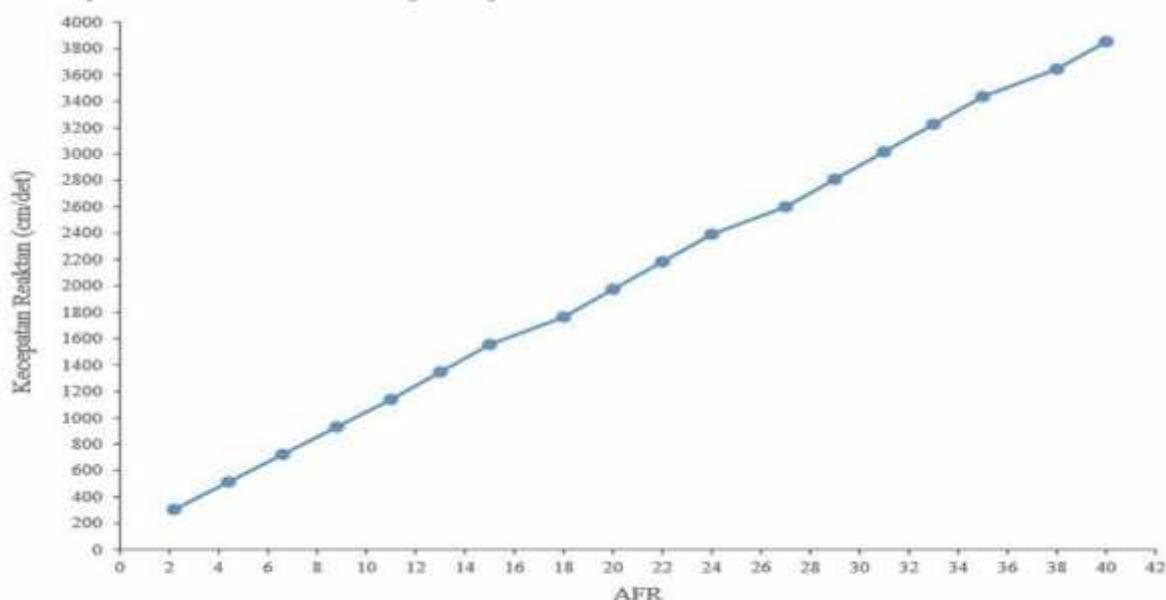
### 3.3 Pengaruh Variasi AFR Terhadap Tinggi Nyala Api



Gambar. 5. Hubungan variasi AFR terhadap tinggi nyala api

Gambar 5 ditunjukkan hubungan antara AFR terhadap tinggi nyala api dari minyak kapas dengan variasi AFR. Semakin tinggi nilai AFR maka debit aliran udara yang menuju nozzle semakin besar dengan debit bahan bakar yang tetap, sehingga fraksi massa juga akan berubah. Tinggi nyala api yang paling tinggi 68.44 mm terjadi pada AFR 2.2 kemudian trendnya terus menurun hingga AFR 35 dengan tinggi nyala api 8.73 mm, namun naik kembali pada AFR 38 hingga AFR 40 dengan tinggi nyala api berturut turut 10.05-10.58 mm. Penurunan tinggi nyala api disebabkan karena pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna dimana sisa bahan bakar yang belum terbakar lalu terbakar secara difusi dengan udara sekitar mengalami penurunan. Pembakaran yang terjadi benar benar pembakaran premixed, pembakaran difusi semakin berkurang sehingga nyala api yang terjadi hanya beberapa mm saja didekat nozzle

### 3.4 Pengaruh Variasi AFR Terhadap Kecepatan Reaktan



Gambar. 6. Hubungan variasi AFR terhadap kecepatan reaktan

Pada gambar 6 menunjukkan semakin tinggi AFR semakin tinggi pula kecepatan reaktan, hal ini disebabkan jumlah udara yang semakin tinggi sehingga ketika debit udara ditambah maka AFR juga akan bergeser menjadi lebih miskin seiring peningkatan kecepatannya. Dari data terlihat bahwa pembakaran yang terjadi telah melewati *stokiometry*. Nilai kecepatan reaktan yang paling tinggi terjadi pada *air fuel ratio* (AFR) 40 sebesar 3880 cm/det, sedangkan nilai kecepatan reaktan terendah pada *air fuel ratio* (AFR) 2.2 sebesar 300 cm/det.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulannya sebagai berikut:

1. Bentuk warna nyala api memberikan petunjuk bahwa pembakaran mendekati sempurna atau tidak. Warna nyala api biru atau warna nyala *premixed* mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi pada ujung *nozzle* mendekati sempurna, kebalikannya warna nyala api kuning/warna nyala api *difusi* mengindikasikan banyak terdapat bahan bakar yang belum sempat terbakar dan terbakar secara *difusi* dengan udara bebas. Kondisi warna nyala api kuning ini akan hilang dan digantikan warna nyala biru seiring peningkatan *air fuel ratio* (AFR).
2. Kenaikan temperatur dipengaruhi oleh variasi *air fuel ratio* (AFR), hal ini ditunjukkan dengan warna nyala api biru dengan temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan warna nyala api kuning. Semakin tinggi nilai *air fuel ratio* (AFR) semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan. Sebaliknya semakin rendah nilai *air fuel ratio* (AFR) semakin rendah temperatur yang dihasilkan.
3. Variasi *air fuel ratio* (AFR) mempengaruhi tinggi nyala api. Semakin tinggi nilai *air fuel ratio* (AFR) semakin berkurang tinggi nyala apinya, sebaliknya semakin rendah nilai *air fuel ratio* (AFR) semakin meningkat tinggi nyala api yang terbentuk. Semakin berkurang tinggi nyala api yang terbentuk maka akan mengakibatkan terangkatnya nyala api dari ujung *nozzle* serta diikuti nyala api padam.
4. Semakin besar nilai *air fuel ratio* (AFR) atau campuran miskin bahan bakar menyebabkan kecepatan reaktan semakin bertambah

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih dan rasa hormat kepada;

1. Ketua Yayasan YPM Sidoarjo
2. Bapak Rektor Universitas Maarif Hasyim Latif (UMAHA) Sidoarjo.
3. Bapak Wakil Rektor II (Keuangan) UMAHA Sidoarjo.
4. Bapak Koordinator Laboratorium Motor Bakar dan Pembakaran UMAHA.
5. Bapak Ir. Edy Gunawan, MT selaku Ketua Prodi Teknik Mesin UMAHA Sidoarjo
6. Bapak-bapak Dosen Teknik Mesin UMAHA Sidoarjo
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Yuan W., Hansen A.C., Zhang Q., 2005. Vapor pressure and normal boiling point predictions for pure methyl esters and
- [2] Demirbas A. Biofuels securing the planet's future energy needs // *Energ Convers Manage*; 50(9):2239e49, 2009
- [3] Kumar, G., Kumar, D., Singh, S., Kothari, S., Bhatt, S. and Singh C.P. (2010) Continuous low cost transesterification process for the production of coconut biodiesel. *Energies*, 3, 43-56
- [4] Qiao, L., Gan, Y., Nishiie, T., Dahm, W.J.A. and Oran, E.S. (2010) Extinction of premixed methane/air flames in microgravity by diluents: Effects of radiation and Lewis number. *Combustion and Flame*, 157, 1446-1455
- [5] Min J., Baillet F., Guo H., Domingues E., Talbaut M., Patte-Rouland B., 2011. Impact of CO<sub>2</sub> or Ar diluted in air on the length and lifting behavior of a laminar diffusion flame, *Proceedings of combustion and flame institute* 33:1071-1078
- [6] Groff E.G., 1982. The cellular nature of confined spherical propene-air flame, *combustion and flame*. 48:51-62.
- [7] Ray J., Najm H.N., Milne R.B., Devine K.D. and Kempka S., 2000. Tripple flame structure and dynamics at the stabilization point of an unsteady lifted jet diffusion flame, *Proceedings of the combustion institute* 28:219-226.
- [8] Hartmann, E. Thesis, Karlsruhe. 1931
- [9] Wardana, ING., Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. 1995
- [10] Boushaki, T., Merlo, N. C., Chauveau, dan I. Gökalp, 2017, Study of pollutant emissions and dynamics of non-premixed turbulent oxygen enriched flames from a swirl burner, *Proc. Combust. Inst.*, vol. 36, no. 3, pp. 3959– 3968.
- [11] Habib, M. A., Elshafei, M. dan Dajani, M., 2008, Influence of combustion parameters on NO<sub>x</sub> production in an industrial boiler, *Comput. Fluids*, vol. 37, no. 1, pp. 12–23.
- [12] Merlo, N. *et al.*, 2014, Combustion characteristics of methane-oxygen enhanced air turbulent non-premixed swirling flames, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 56, pp. 53–60.
- [13] Dhiputra, I Made Kartika, Kajian Eksperimental Fenomena Flame Lift-up. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia, 2010.
- [14] Kumar S, Paul PJ, Mukunda HS. Investigations of the scaling criteria for a mild combustion burner. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2005;30:2613-21.
- [15] Rahman M, Hamada KI, Noor M, Kadrigama K, Bakar RA, Rahim M. Heat transfer characteristics in exhaust port for hydrogen fueled port injection engine: a transient approach. *Advanced Materials Research*. 2011;152:1909-14.
- [16] Hamada KI, Rahman M, Noor M, Kadrigama K, Bakar RA. Influence of Engine Speed and Injection Timings on In-Cylinder Heat Transfer for Port Injection Hydrogen Fueled Engine. *NCMER*. 2010;2:3-4.
- [17] Wirawan., 2014. Pembakaran premixed minyak nabati pada perforated burner
- [18] Dharma., 2013. Pengaruh variasi equivalence ratio terhadap karakteristik api pembakaran premixed minyak jarak pagar pada perforated burner
- [19] Wardana, ING., Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran. Malang. PT Danar Wijaya. Brawijaya University Press. 2008
- [20] Ariningtys, N. dan Sutardi, 2014, Studi Numerik Pengaruh Konfigurasi Pengumpanan Dua Jenis Batubara dengan Metode *In-Furnace Blending* Terhadap Proses Pembakaran pada *Boiler* Tangensial, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.