

Eksperimental karakteristik api dari suplai udara pada pembakaran uap pertalite-pertamax

A'yan Sabitah^{1*}, Ichwan Noor Ardiyat²

^{1,2}Politeknik Negeri Banjarmasin

Jl. Brigjen H. Hasan Basri (Komplek Unlam) Kayutangi, Banjarmasin 70123

*Corresponding author: ayansabitah97@gmail.com

Abstract

Pertamax and pertalite-like fuel are used as vehicle fuel in parts of the world, especially in Indonesia. Pertamax and pertalite have their own characteristics and if they are mixed, they will change the physicochemical properties of the pure fuel and affect the combustion behavior. In this study, an experiment was conducted on the combustion of pertamax vapor, pertalite and a mixture of pertamax and pertalite by varying the air supply by 1 liter/minute, 2 liters/minute and 3 liters/minute. The results of the combustion of fuel vapors were observed in the form of temperature by measuring using a thermocouple placed in two places with a height of 20 mm and 40 mm from the nozzle mouth and observing the flame using a camera. The results obtained from the observations are the flow of fire produced in the form of a laminar flame of all fuels, The highest flame temperature is owned by pertamax fuel with an air supply of 3 liters/minute of 1047°C on a thermocouple at an altitude of 20 mm and 1027°C at an altitude of 40 mm, while the lowest temperature is owned by pertalite fuel. This is because the octane value of pertamax is higher. As the octane value increases, the flame temperature increases, but the flame height decreases. In addition, when the air supply is 3 liters/minute, a lift off phenomenon occurs in the pertamax fuel and pertamax-pertalite mixture. This is because the octane value of pertamax is higher. As the octane value increases, the flame temperature increases, but the flame height decreases. In addition, when the air supply is 3 liters/minute, a lift off phenomenon occurs in the pertamax fuel and pertamax-pertalite mixture. This is because the octane value of pertamax is higher. As the octane value increases, the flame temperature increases, but the flame height decreases. In addition, when the air supply is 3 liters/minute, a lift off phenomenon occurs in the pertamax fuel and pertamax-pertalite mixture.

Keywords: *pertamax, pertalite, combustion, temperature, lift off.*

Abstrak

Bahan bakar sejenis pertamax dan pertalite digunakan sebagai bahan bakar kendaraan di belahan dunia, terutama di Indonesia. Pertamax dan pertalite memiliki karakteristik masing-masing dan apabila dilakukan pencampuran akan mengubah sifat fisikokimia bahan bakar murni dan mempengaruhi perilaku pembakaran. Dalam studi ini dilakukan percobaan pembakaran dari uap pertamax, pertalite dan campuran pertamax dan pertalite dengan memvariasikan suplai udara sebesar 1 liter/menit, 2 liter/menit dan 3 liter/menit. Hasil pembakaran dari uap bahan bakar yang diamati berupa temperatur dengan pengukuran menggunakan termokopel yang diletakkan di dua tempat dengan ketinggian 20 mm dan 40 mm dari mulut nozzle dan pengamatan nyala api menggunakan kamera. Hasil yang diperoleh dari pengamatan yaitu aliran api yang dihasilkan dalam bentuk api laminar dari semua bahan bakar, temperatur nyala api yang tertinggi dimiliki oleh bahan bakar pertamax dengan suplai udara 3 liter/menit sebesar 1047°C pada termokopel titik ketinggian 20 mm dan 1027°C pada ketinggian 40 mm, sedangkan temperatur yang terendah dimiliki bahan bakar pertalite. Hal ini dikarenakan nilai oktan pertamax lebih tinggi. Semakin meningkatnya nilai oktan

temperatur api semakin meningkat, namun ketinggian api mengalami penurunan. Selain itu pada saat suplai udara 3 liter/menit terjadi fenomena *lift off* pada bahan bakar pertamax dan campuran pertamax-pertalite.

Kata kunci: pertamax, pertalite, pembakaran, temperatur, *lift off*.

Pendahuluan

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen sehingga membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar [1].

Pembakaran merupakan kunci penting dalam kehidupan modern saat ini, maka teknologi pembakaran banyak diteliti dan dikaji. Pembakaran yang umum digunakan dalam kehidupan sehari – hari adalah pembakaran difusi.

Pembakaran terbagi menjadi 2 yaitu pembakaran defusi dan pembakaran premix. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami dalam ruang bakar, sedangkan pembakaran secara premixed adalah pembakaran bahan bakar dan udara sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran [1].

Kelebihan pembakaran difusi aman karena tidak ada bahaya flashback karena api tidak menjalar ke sumber bahan bakar, pembakaran difusi juga memiliki kelemahan karena cukup sulit mendapatkan komposisi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara [2]. Maka, salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah mendesain sistem pembakaran difusi yang optimal, sehingga didapatkan suatu desain burner yang efektif dan efisien [3,4].

Faktor yang mempengaruhi karakteristik pembakaran api difusi adalah geometri burner karena merupakan tempat terjadinya reaksi pembakaran[5,6]. Selain burner suplai udara dan bahan bakar juga berpengaruh pada pencampuran bahan

bakar dengan udara saat proses pembakaran. Menurut Wardana, api akan merambat hanya pada konsentrasi campuran antara batas lebih rendah dan batas lebih tinggi dari mampu nyalanya. Batas-batas campuran ini juga disebut campuran termiskin dan campuran terkaya bagi api untuk menyala [1]. Selain itu api dikatakan stabil jika tetap stasioner, atau kestabilan api bisa terjadi apabila kecepatan gas reaktan dan kecepatan rambatan api sama. Kestabilan nyala api dipengaruhi oleh kesetimbangan antara laju aliran massa, kekal momentum, dan kekekalan energi.

Rizky Kurniawan, 2021 melakukan percobaan pembakaran dengan bahan bakar oli bercampur etanol. Dimana persentase etanol mempengaruhi hasil temperatur dan nyala api yang dihasilkan oleh burner, semakin besar persentase etanol pada oli bekas semakin meningkat temperatur yang dihasilkan [7].

Pertalite merupakan bahan bakar minyak jenis baru yang memiliki kadar *Research Octan Number* (RON) 90, di atas Premium, yang hanya RON 88. Pertalite komposisi bahannya adalah nafta yang memiliki RON 65-70, agar RON-nya menjadi RON 90 maka dicampurkan HOMC (*High Octane Mogas Component*), HOMC bisa juga disebut Pertamax, percampuran HOMC yang memiliki RON 92-95, selain itu juga ditambahkan zat aditif EcoSAVE. Zat aditif EcoSAVE ini bukan untuk meningkatkan RON tetapi agar mesin menjadi bertambah halus, bersih dan irit [8,9].

Pertamax merupakan jenis bahan bakar dengan angka oktan 92. Bahan bakar pertamax sudah tidak menggunakan campuran timbal sehingga dapat mengurangi racun gas buang kendaraan bermotor seperti nitrogen oksida dan karbon monooksida. Pertamax memiliki

kandungan maksimum sulfur (S) 0,1%, timbal (Pb) 0,013% (jenis tanpa timbal) dan Pb 0,3% (jenis dengan timbal), oksigen (O) 2,72%, pewarna 0,13 gr/100 L, tekanan uap $45 \div 60$ kPa, titik didih 205°C , serta massa jenis (suhu 15°C) $715 \div 780$ kg/m³ [8-9].

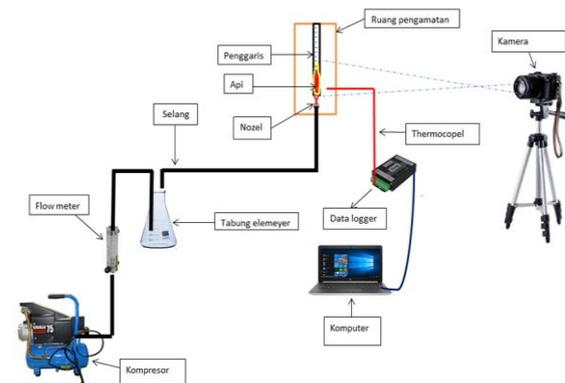
Pemilihan bahan bakar pertamax dan pertalite dalam penelitian ini didasarkan pada bahan bakar yang mudah dicari dan memiliki sifat yang mudah menguap. Berdasarkan karakteristik bahan bakar diatas peneliti mempunyai ide untuk meneliti lebih dalam terkait penggunaan uap dari bahan bakar yang nantinya digunakan sebagai nyala api. Pada penelitian ini peneliti fokus untuk menganalisa bentuk api dan temperatur api yang dihasilkan dari penguapan bahan bakar pertamax dan pertalite.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium motor bakar, program studi teknik mesin, Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin, Indonesia. Variabel pada penelitian ini adalah suplai udara dalam bahan bakar pertamax dan pertalite sebesar 1 liter/menit, 2 liter/menit dan 3 liter/menit,. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar. 1. Udara dialirkan dari kompresor, selanjutnya udara akan mengalir melewati regolator, tabung elemeyer yang berisi bahan bakar, dan selanjutnya akan keluar ke nozzel dengan mengeluarkan uap dari bahan bakar. Uap yang keluar dari nozzel tadi dinyalakan dengan percikan api, kemudian bentuk api diamati menggunakan kamera dan temperatur api yang dihasilkan tadi diukur menggunakan termokopel dan data logger.

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisa. Pada percobaan ini, data yang dikumpulkan adalah temperatur api disetiap suplai udara. Adapun untuk titik temperatur yang diukur ada dua titik dan masing - masing titik memiliki jarak yang berbeda. Untuk titik pertama yang diukur terletak pada ketinggian 20 mm dari mulut nozzel, dan titik kedua terletak di ketinggian 40 mm dari mulut nozzel.

Selanjutnya data yang didapatkan dimasukkan dalam grafik untuk dianalisa dan dibahas. Selain temperatur, bentuk nyala api juga diamati. Pengamatan bentuk api dilakukan dengan pengamatan lewat kamera. Setiap pengujian dilakukan perekaman untuk diambil gambar bentuk api.

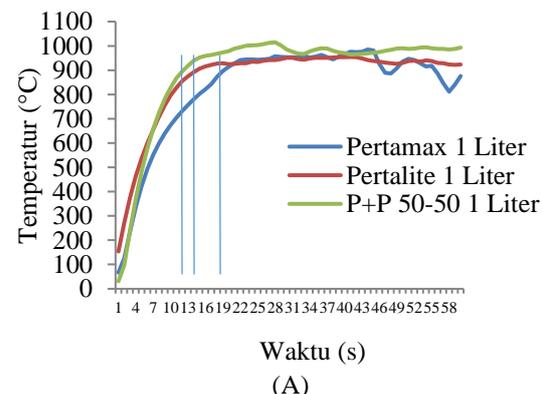


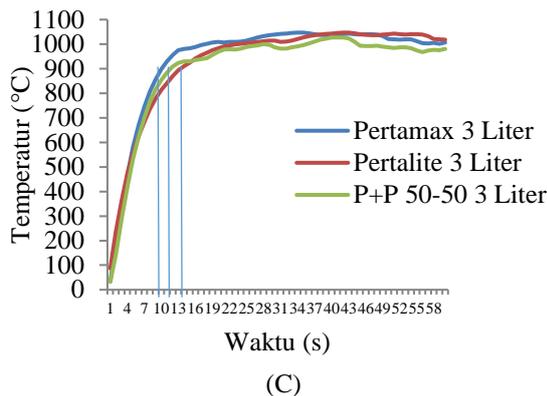
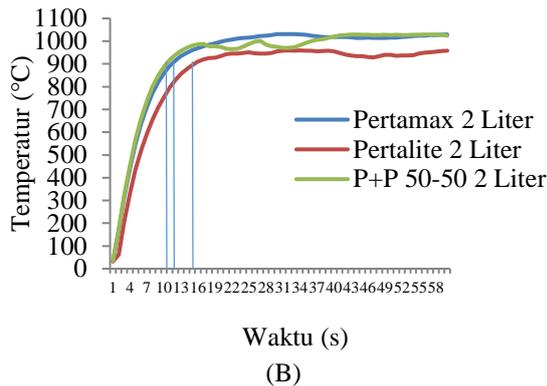
Gambar 1. Instalasi alat

Hasil dan Pembahasan

Temperatur api

Proses pengukuran temperatur nyala api dari pembakaran bahan pertamax, pertalite dan campuran pertamax-pertalite dengan meletakkan dua termokopel dengan dua titik yang berbeda ketinggiannya. Ketinggian termokopel di titik yang pertama terletak pada ketinggian 20 mm dari mulut nozzel, sedangkan termokopel ke dua terletak pada ketinggian 40 mm dari mulut nozzel. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan nilai yang dibuat dalam sebuah grafik. Gambar grafik temperatur dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.





Gambar 2. Grafik temperatur nyala api pada termokopel di titik 1 dengan ketinggian 20 mm dari mulut nozzle, (A) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 1 liter/menit, (B) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 2 liter/menit, (C) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 3 liter/menit

Hasil grafik temperatur pada termokopel di titik 1 yang ditunjukkan gambar 2 dapat dilihat bahwa pada grafik temperatur nyala api dengan suplai udara 2 liter/menit dan 3 liter/menit memiliki kestabilan temperatur yang baik serta memiliki temperatur mencapai 950°C. Namun pada grafik temperatur nyala api dengan suplai udara 1 liter/menit terlihat temperatur tidak stabil.

Temperatur nyala api tertinggi dimiliki oleh bahan bakar dengan suplai udara 2 liter/menit dan 3 liter/menit, dimana nilai maksimum yang dihasilkan mencapai 1000°C lebih, melebihi dari bahan bakar partalate dan campuran pertamax-pertalite. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 namun pada suplai udara 1 liter/menit, nilai temperatur yang dihasilkan berada dibawah dan juga tidak stabil

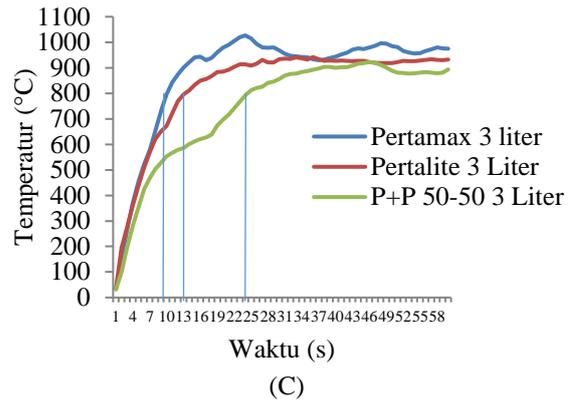
dibandingkan dengan bahan bakar pertalite dan campuran pertamax-pertalite.

Pada gambar 2(A) dengan suplai udara 1 liter/menit dapat dilihat bahwa untuk mencapai 900°C, bahan bakar campuran pertamax-pertalite lebih cepat, diikuti dengan bahan bakar pertalite dan pertamax. Grafik pada gambar 2(B) dengan suplai udara 2 liter/menit bahan bakar pertamax-pertalite juga memiliki kecepatan lebih awal, dibandingkan bahan bakar pertamax dan bahan bakar pertalite. sedangkan pada gambar 2(C) dengan suplai udara 3 liter/menit kenaikan temperatur untuk mencapai 900°C dimiliki oleh bahan bakar pertamax diikuti dengan bahan bakar campuran pertamax-pertalite dan yang terakhir bahan bakar pertalite.

Gambar 3 menunjukkan hasil grafik temperatur pada termokopel di titik 2, dimana pada gambar 3(A) dengan suplai udara 1 liter/menit terlihat garis temperatur tidak stabil, dikarenakan api bergerak tidak teratur, hal ini bisa diakibatkan udara yang berlebih dan udara sekitar nozzle. Sedangkan pada gambar 3(B) dengan suplai udara 2 liter/menit dan gambar 3(C) dengan suplai udara 3 liter/menit garis temperatur yang ditunjukkan grafik memiliki kestabilan yang cukup baik. Temperatur nyala api tertinggi pada termokopel di titik 2 dimiliki oleh bahan bakar pertamax dengan suplai udara 3 liter/menit, dimana nilai maksimum yang dihasilkan mencapai 1000°C lebih, melebihi dari bahan bakar lainnya.

Kenaikan temperatur awal pada gambar 3 untuk mencapai 800°C adalah sebagai berikut. Gambar 3(A) dengan suplai udara 1 liter/menit garis grafik temperatur dalam keadaan tidak stabil, terlihat pada detik ke 13, grafik menjadi landai dan terjadi perubahan posisi dimana awalnya campuran bahan bakar pertamax-pertalite yang awalnya berada di bawah menjadi posisi teratas dari bahan bakar lainnya. Pada gambar 3(A) dengan suplai udara 1 liter/menit bahan bakar campuran pertamax-pertalite memiliki waktu berkisar 20 detik selanjutnya diikuti bahan bakar

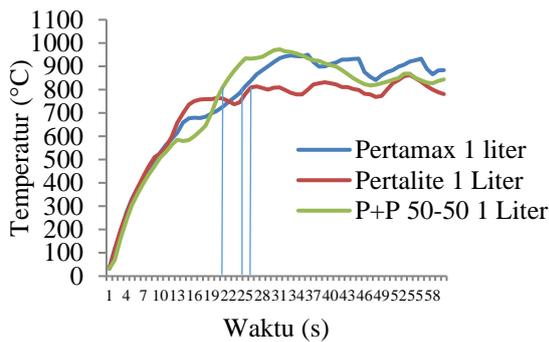
pertamax pada detik 23 dan pertalite pada detik ke-26 untuk mencapai 800°C. Pada gambar 3(B) dengan suplai udara 2 liter/menit dapat dilihat temperatur mengalami kenaikan yang konstan, untuk bahan bakar pertamax dan campuran pertamax pertalite memiliki kenaikan temperatur yang hampir sama untuk mencapai 800°C dan memerlukan waktu 15 detik, sedangkan bahan bakar pertalite, untuk mencapai 800°C memerlukan waktu berkisar 27 detik. Sedangkan pada gambar 3(C) dengan suplai udara 3 liter/menit untuk mencapai 800°C waktu tercepat dimiliki bahan bakar pertamax dengan waktu 10 detik selanjutnya bahan bahan bakar pertalite pada detik ke-13 dan campuran bahan bakar pertamax pertalite pada detik ke-25.



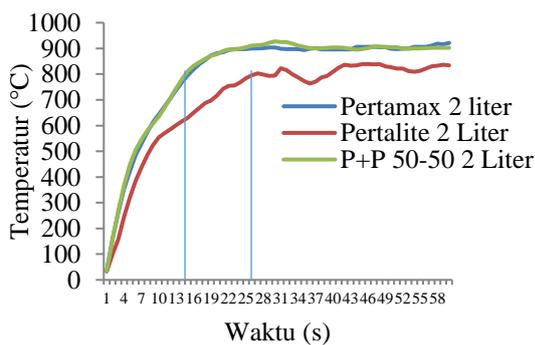
Gambar 3. Grafik temperatur nyala api pada termokopel di titik 2, dengan ketinggian 40 mm dari mulut nozzel. (A) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 1 liter/menit, (B) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 2 liter/menit, (C) Grafik Temperatur Nyala Api dengan suplai udara 3 liter/menit

Bentuk dan nyala api

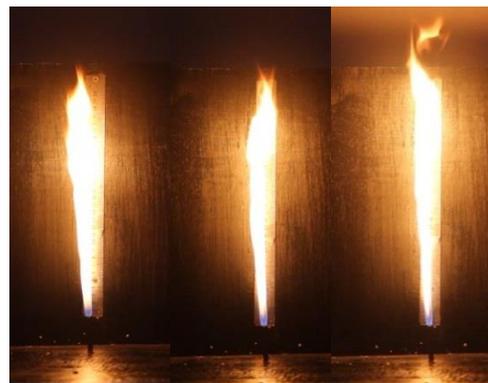
Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar atau proses pembakaran[1]. Hasil Pengamatan bentuk nyala api diambil pada saat temperatur tertinggi dengan asumsi pada titik ini api sudah mengalami kestabilan yang cukup baik. Bentuk dan nyala api dapat dilihat pada gambar 4.



(A)



(B)



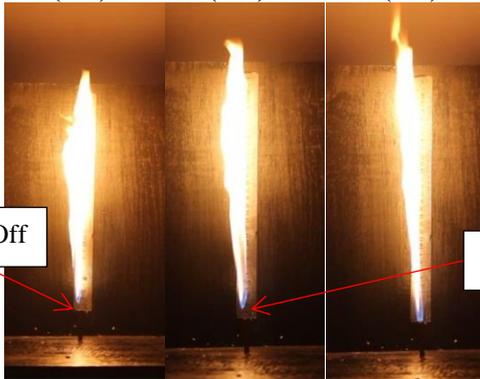
(1.a)

(1.b)

(1.c)



(2.a) (2.b) (2.c)



(3.a) (3.b) (3.c)

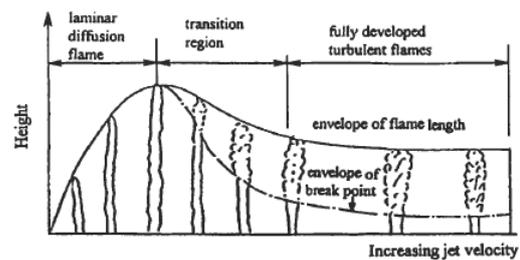
Gambar 4. Bentuk nyala api

- 1.a bahan bakar pertamax, 1.b bahan bakar pertalite, 1.c bahan bakar pertamax-pertalite dengan suplai udara 1 liter/menit
- 2.a bahan bakar pertamax, 2.b bahan bakar pertalite, 2.c bahan bakar pertamax-pertalite dengan suplai udara 2 liter/menit
- 3.a bahan bakar pertamax, 3.b bahan bakar pertalite, 3.c bahan bakar pertamax-pertalite dengan suplai udara 3 liter/menit

Gambar 4 menunjukkan hasil dari pengambilan foto nyala api, dimana terlihat secara kasat mata untuk ketinggian api dan bentuk api. Dari suplai udara 1 liter/menit, 2 liter/menit dan 3 liter/menit didapat hasil api tertinggi dimiliki oleh bahan bakar campuran pertamax-pertalite dengan persentase 50%-50%, sedangkan api terendah dimiliki bahan bakar pertamax. Namun untuk temperatur yang dihasilkan jenis bahan bakar pertamax memiliki temperatur tertinggi, diikuti bahan bakar campuran pertamax-pertalite dan bahan bakar pertalite. Hal ini dikarenakan nilai oktan yang terkandung dari bahan bakar. Menurut P.Zhu, 2019 dan Saeful Bahkri, 2021 dalam penelitiannya dengan penambahan etanol pada bensin mampu

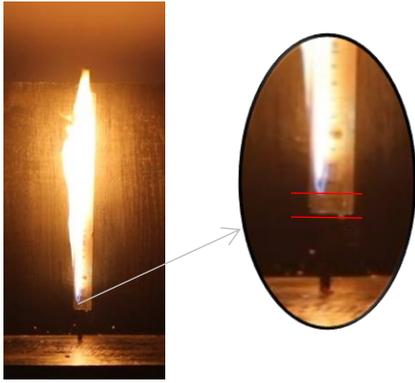
meningkatkan nilai oktan, dimana hasil pembakaran dari bahan bakar tersebut semakin banyak etanol yang dimasukkan, api yang dihasilkan semakin panas, warna api lebih terang dan api yang dihasilkan tidak terlalu tinggi [10,11].

Gambar 4 selain menunjukkan hasil dari ketinggian api, dari pengambilan foto nyala api juga dapat dilihat jenis aliran bahan bakar yang membentuk api. Dari semua gambar terlihat aliran membentuk aliran api laminar. Kecepatan aliran bahan bakar dan udara dapat mempengaruhi api laminar dan mengurangi panjang daerah laminar. Titik perubahan aliran laminar menjadi turbulen dinamakan *break point*. Bila terjadi *break point* mendekati nozzle bahan bakar, panjang api dan panjang *break point* di atas nozzle tidak berubah. Perubahan bentuk aliran api dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Perubahan progresif pada jenis api dengan peningkatan kecepatan jet [15].

Fenomena lainnya yang terjadi pada proses pembakaran adalah *lift off*. Proses terjadinya *lift off* dapat dilihat saat suplai udara 3 liter/menit pada bahan bakar pertamax dan pertalite, dapat dilihat pada gambar 6, dimana mekanisme api *lift off* dapat dilihat saat api tidak menyentuh mulut nozzle pembakar atau dengan kata lain ketika api mulai menjauhi *port burner*, namun stabil pada beberapa jarak dari mulut nozzle. *Lift Off* terjadi karena terjadi ketidak seimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar pada pangkal api dan kecepatan penyalaan dalam proses pencampuran bahan bakar dan udara [12].



Gambar 6. Fenomena *lift off*

Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik pembakaran api difusi adalah geometri burner atau tempat terjadinya rekasi pembakaran [12]. Pada proses pencampuran antara bahan bakar dan udara, kehadiran vorteks-vorteks akibat struktur geometri burner berperan penting sebagai pengaduk aliran. Dinamika vorteks hadir pada struktur aliran api non-premix yang bertujuan untuk menstabilkan proses pembakaran [14]. Ada dua kondisi aliran kritis yang berhubungan dengan kestabilan api yaitu *lift off* dan *blow off* [14,15,16].

Kesimpulan

Adapun untuk kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah temperatur nyala api yang tertinggi dimiliki oleh bahan bakar pertamax dengan suplai udara 3 liter/menit sebesar 1047°C pada termokopel dititik ketinggian 20 mm dan 1027°C pada ketinggian 40 mm, sedangkan yang temperatur terendah dimiliki bahan pertalite. Semakin meningkatnya nilai oktan, temperatur api semakin meningkat, namun ketinggian api mengalami penurunan. Pada saat suplai udara 3 liter/menit terjadi fenomena *lift off* pada bahan bakar pertamax dan campuran pertamax-pertalite. Aliran api yang dihasilkan dalam bentuk api laminar.

Referensi

[1] Wardana, I.N.G ; 1995 : Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas

Brawijaya : Malang. (1 : 7 -10 ; 6 : 169-170).

- [2] Akbar, L. 2013.”Pengaruh Sudut Central Fuel Tube Terhadap Kestabilan dan Temperatur Nyala Api Difusi Double Concentric Jet Flow”. Vol III.1222.04.XII.592
- [3] Fazzry Burhan : 2010 : dinamika pembakaran uap minyak kelapa akibat pengaruh katalis pada proses catalis cracking terhadap waktu dan tekanan flashback : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Gajayana Malang
- [4] Ardhiansyah, Rayvandi .2016,”Simulasi Pembakaran Non-Premixed Dengan Variasi Kemiringan Swirl Burner Pada Model Turbulensi K-e”.Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- [5] Faizal, Elka.,2016. “Pengaruh Variasi Lip Thickness pada Nozzle Terpancung terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi Concentric Jet Flow.”Malang:Jurnal Rekayasa Mesin Vol.7, No.2: 13-20
- [6] Fazzary, Burhan.,2011.” Perilaku Pergeseran Daerah Kestabilan Api Difusi Akibat perubahan Bentuk Flame Holder”. Fakultas teknik.s Universitas Gajayana Malang, Malang
- [7] Moch. Rizky Kurniawan, Djoko Wahyudi, Alief Muhammad. 2021. Pengaruh prosentase etanol pada oli terhadap lidah api dan temperatur pada burner oli bekas. Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro . TURBO Vol. 10 No. 2. 2021. p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X. URL:<http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>
- [8] Baananto, Fauzan.2018,” Studi Numerik Pembakaran Butana (C4h10) Dalam Meso Scale Combustor Dengan Perforated

- Plate”.Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- Buchari Ali, Eman Slamet W : analisa unjuk kerja mesin sepeda motor type X 115CC sistem karburator dengan menggunakan bahan bakar premium dan campuran ethanol (10, 15, 20)% ; Program studi Teknik Mesin, FTI-ISTN.
- [9] Saragih Rapotan, Djoko Sungkono k ; 2013 ; Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium, Pertamina, Pertamina Plus Dan Spiritus Terhadap Unjuk Kerja Engine Genset 4 Langkah ; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS); Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539.
- [10] P. Zhu, Z.X. Tao, C. Li, Q.Y. Liu, Q. Shao, R. Yang, H. Zhang. 2019. Experimental study on the burning rates of Ethanol-Gasoline blends pool fires under low ambient pressure. *Fuel* 252 (2019) 304–315.
- [11] Saeful Bakhri, joko Wahyudi, Alief Muhammad. 2021. Uji karakteristik nyala api pembakaran premix bioetanol dari ampas tebu. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro . TURBO* Vol. 10 No. 2. 2021. p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X. URL: <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>
- [12] Ahmad Akromul Huda, Agung Sugeng Widodo, Eko Siswanto. 2018. Pengaruh Lip Thickness Nozzle Terpancung Sudut Luar Terhadap Karakteristik Api Difusi Concentric Jet Flow. *Rekayasa Mesin eISSN* 2477-6041
- [13] Glassman, Irvin and Yetter, R.A., *Combustion, Fourth edition*, San Diego-California. Elsevier. 2008081907303254
- [14] Wardana, I.N.G., *Bahan bakar dan teknologi pembakaran*, Cetakan Pertama. PT. Danar Wijaya–Brawijaya University Press, Malang. 2008
- [15] Faizal, Elka., “Pengaruh variasi lip thickness pada nozzle terpancung terhadap karakteristik api pembakaran difusi concentric jet flow”, *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.7, No.2, pp. 13-20. 2016
- [16] RANKIN, D.D., THERKELSEN, P., *Lean combustion technology and control*, 2nd Edition, Elsevier. 2016