

Pengaruh Kecepatan Udara dan Bahan Bakar terhadap Kestabilan Api Difusi pada Coflow Burner

MEGA NUR SASONGKO, ANDIKA SUKMANA, WIDYA WIJAYANTI

ABSTRACT

The stability of the diffusion flame in the coflow burner is strongly influenced by the flow rate of fuel and oxidizer flowing through each channel. This study experimentally investigates the stability of the diffusion flame in the coflow burner. Visualization of the flame stability was carried out using the Schlieren and direct photograph method. The flame was observed under conditions of unburned gas and burned gas. In this experiment, the velocity of air as an oxidizer gas was varied from 0.05 to 1.2 m/s, while the LPG gas velocity was varied from 0.6 to 1.2 m/s. The results showed that increasing the velocity of the air flow, the stability of the flame was getting worse. If the fuel flow rate was increased, the flame will turn into Lift off condition. The photograph of diffusion flame showed that at lower air and fuel flow velocity, the flame is almost entirely in a stable condition. In this condition, the fuel mixture will form a smooth U curve and the type of flow that occurs at the base of the nozzle is laminar. When the air and fuel flow velocity is relatively large, the flame will turn into turbulent and the lift off condition in the based of nozzle is dominated by the blue flame. In a relatively high velocity of fuel and air, the width of the flame increases starting from the tip of nozzle until the flame width changes irregularly and lift off occurs.

Keywords: Diffusion flame, coflow burner, Schlieren photograph, Lift off

PENDAHULUAN

Pembakaran merupakan salah satu proses yang penting dalam bidang rekayasa yang merupakan penghasil energi dalam bidang industri maupun transportasi. Sampai sekarang ini pembakaran sebagai penghasil energi masih belum bisa digantikan oleh proses maupun alat penggerak lainnya.

Pada aerodinamika pembakaran, salah satu aspek yang ditinjau dari proses pembakaran adalah kestabilan nyala api. Api dikatakan stabil apabila stasioner pada posisi tertentu. Kondisi tersebut bisa terjadi jika kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan perambatan api. Tetapi kenyataannya banyak faktor yang mempengaruhi sehingga api mudah berada pada kondisi yang tidak stabil (Sellan & Balusamy, 2021).

Fenomena ketidakstabilan api masih terus diteliti karena teori-teori yang mendukung mengenai ketidakstabilan api masih bersifat empiris dan tidak adanya hubungan-hubungan analitik yang dapat digunakan untuk

menghitung dan menyederhanakan data eksperimen. Interpretasi data yang menyangkut ketidakstabilan api dapat diteliti dengan cara melihat pola aliran, gerakan api, dan transport.

(Takahashi, 1990) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kondisi kestabilan bergeser disebabkan oleh pemanjangan api karena adanya intervensi vorteks pada pangkal api. Peristiwa pemanjangan api tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain lip thickness burner, diameter burner dan bentuk burnernya, kontour noselnya maupun bentuk pipanya. Jika kecepatan api lebih kecil dari kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak meninggalkan mulut nosel. Peristiwa ini dinamakan lift off dan dapat pula mengakibatkan terjadinya blow off. Blow off adalah suatu kondisi dimana api mati setelah terjadinya lift off.

Menurut (F. Takahashi, M. Mizomoto, S, 1982), kondisi lift off didefinisikan sebagai kondisi dimana api mulai meninggalkan (tidak menempel) pada burner port. Dan kondisi lift dikendalikan oleh pangkal api akibat dari ketidakseimbangan antara kecepatan aliran gas

dan kecepatan penyalaan api serta adanya gangguan aliran dalam pipa. Selain itu fenomena lift dipengaruhi oleh banyak faktor. (Jeon et al., 2022) menyatakan bahwa semakin besar pipa diameter bahan bakar maka kecenderungan api untuk mengalami lift off semakin sulit.

Banyaknya faktor yang berpengaruh terhadap kestabilan api difusi tersebut menyebabkan penelitian tentang kestabilan pembakaran masih menjadi topik yang menarik oleh banyak peneliti. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (WIJAYANTI, Widya and , Dr.Eng. Tri Agung R., B.Eng., 2002) dengan model burner Cencentric fuel tubenya, bertujuan untuk mengamati geometri api saat Stabil dan lift off dengan direct visualization. Tetapi pada penelitian tersebut belum diamati bagaimana konfigurasi aliran reaktan, yang merupakan faktor yang penting dalam kestabilan api difusi. Berawal dari penelitian tersebut maka perlu diteliti tentang pola aliran yang terjadi pada saat stabil dengan menggunakan metode visualisasi.

Metode Schlieren adalah salah satu metode visualisasi yang sering digunakan dalam menganalisis api difusi serta perilaku udara disekitarnya. Keuntungan menggunakan metode ini adalah menghemat biaya dan didapatkan hasil gambar yang akurat. Metode ini menggunakan sifat-sifat optik untuk mendapatkan suatu gambar hitam putih yang menunjukkan perbedaan densitas untuk setiap perbedaan warna yang dapat menggambarkan arah aliran dari fluida yang bergerak dan memerlukan sumber cahaya dengan intensitas yang besar sehingga didapatkan sinar-sinar sejajar Metode ini akan mendapatkan suatu gambar yang dapat menunjukkan perbedaan densitas di dalam ruang bakar serta mixing aliran, yaitu antara api, bahan bakar dan gas pembakaran (Hedman, Paul O., Flores, 2002).

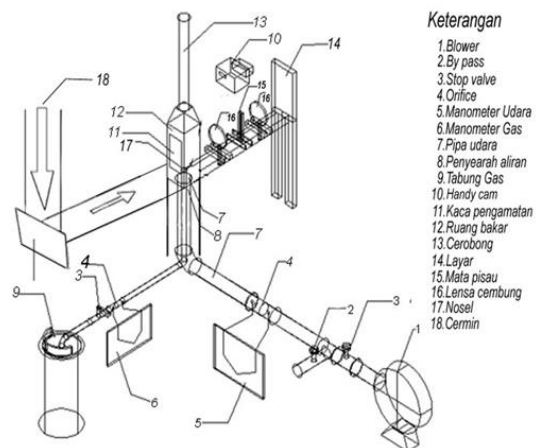
Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi kecepatan aliran bahan bakar dan kecepatan aliran udara terhadap ketidakstabilan api difusi (lift off) pada burner concentric annulus tube menggunakan metode visualisasi schlieren photograph.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental. Gambar 1 memperlihatkan

skema peralatan penelitian ini. Coflow burner dibentuk dari buah pipa konsentrik. Pipa bagian dalam terbuat dari tembaga dengan diameter sangat kecil digunakan untuk mengalirkan bahan bakar gas. Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG. Pipa konsentrik sebelah luar berdiameter $\frac{3}{4}$ inch digunakan untuk mengalirkan udara pembakaran yang disuplai dari sebuah blower. Kecepatan udara pembakaran diatur oleh sebuah stop kran dan besar kecepatannya diukur menggunakan manometer. Disisi lain kecepatan gas LPG juga diatur menggunakan stop valve gas. Kecepatan gas bahan bakar juga diukur menggunakan orifice dan manometer. Pada penelitian ini kecepatan gas LPG divariasikan dalam 0,6 sampai 1,2 m/s, sedangkan kecepatan udara pembakaran divariasikan dalam 0,05 sampai 1,2 m/s. Peralatan schlieren photograph yang terdiri dari lensa, knife edge, nosel, dan layar diletakkan pada posisi yang sejajar. Knife edge diletakkan tepat pada titik fokus lensa yaitu pada jarak 22,5 cm dari lensa, sedangkan layar dan nosel diletakkan pada jarak dua kali jarak fokus lensa 45 cm dari lensa dengan urutan letak adalah sebagai berikut : nosel, lensa cembung I, knife edge, lensa cembung II, dan layar.

Visualisasi api difusi yang diamati adalah pola aliran nyala api pada saat stabil saat kondisi burned dan unburned flame. Selain itu juga diamati visualisasi api pada saat lift off.



GAMBAR 1. Skema penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Visualisasi api difusi

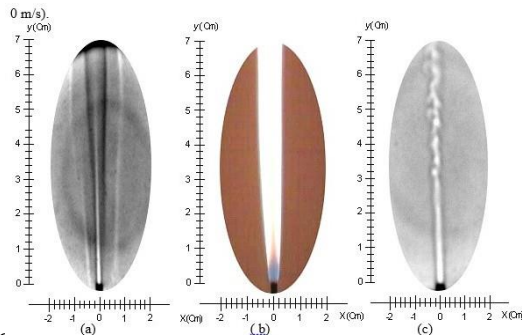
Visualisasi api dalam penelitian ini meliputi kondisi api dalam keadaan stabil dan akan mengalami lift off pada pembakaran difusi, perilaku khusus seperti bentuk aliran, lebar aliran, jenis aliran serta mixing aliran. Visualisasi ini dilakukan dengan menggunakan metode optik yaitu Schlieren Photograph dan Direct Photograph. Visualisasi dari Schlieren Photograph dilakukan pada saat keadaan campuran antara bahan bakar dan udara berupa unbured gas (tidak nyala) dan burned gas (nyala). Sedangkan untuk Direct Photograph dilakukan hanya pada saat kondisi campuran bahan bakar dan udara berupa burned gas.

0,05 m/s, 0,1 m/s dan 0,12 m/s. Setiap gambar dibedakan oleh tiga jenis foto. Subskrip (a) adalah visualisasi burned gas menggunakan metode schlieren, (b) adalah foto api menggunakan direct photograph dan (c) menunjukkan visualisasi api unbured gas menggunakan shlieren photograph.

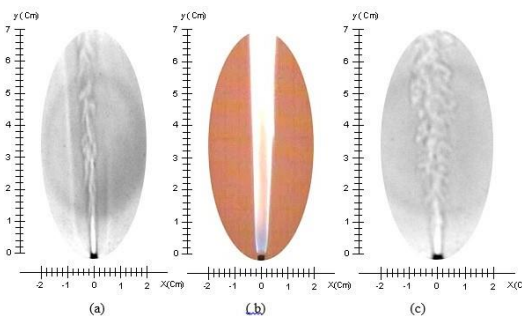
Seperti terlihat pada gambar-gambar tersebut, gambar 2 dan 3 adalah kondisi api difusi stabil sedangkan gambar 4 memperlihatkan api difusi mengalami liff off akibat kecepatan bahan bakar yang cukup tinggi membuat api terlepas dari mulut noselnya. Fenomena Lift off api difusi terjadi karena terjadi ketidakseimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar dengan kecepatan penyalaan pada pangkal api dalam proses pencampuran antara bahan bakar dan udara.

Visualisasi Schlieren photograph Burned gas menunjukkan bahwa campuran bahan bakar yang terjadi membentuk kurva mulus U. Semakin meningkat kecepatan bahan bakarnya, jenis aliran semakin turbulen. Api laminar hanya terjadi pada kecepatan bahan bakar 0,05 (m/s), itupun hanya terjadi pada daerah didekat nosel bahan bakar. Selebihnya kondisi aliran mulai berubah menjadi turbulen. Kondisi liff off atau api mulai meninggalkan nosel bahan bakar baru terjadi pada kecepatan bahan bakar diatas 0,12 m/s. Saat kondisi liff off, intensitas turbulensi meningkat tajam sehingga api menjadi lebih turbulen dengan hanya di pangkal api saja aliran tetap laminar..

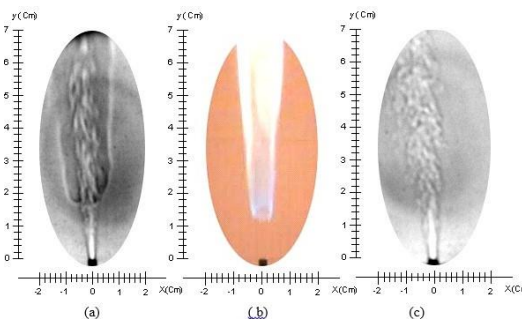
Direct Photograph memperlihatkan bahwa kondisi api stabil hanya terlihat aliran laminar yang membentuk kurva mulus U. Pada saat stabil warna pangkal api biru dan pada semua kasus hampir seluruhnya didominasi warna kuning yang disebabkan oleh radiasi pembentukan jelaga yang hampir selalu terjadi pada pembakaran difusi (F.Takahashi, M. Mizomoto, S, 1982). Ketika kecepatan bahan bakar 0,12 (m/s) saat kondisi lift off, Struktur api secara umum turbulen daripada kondisi stabil, dengan bagian bawah pangkal berbentuk cincin yang didominasi warna biru. Warna biru pada bagian bawah terjadi karena tingkat pencampuran yang lebih baik antara bahan bakar dan udara yang mana ketika kecepatan aliran bahan bakar semakin tinggi maka kondisi api menjadi sangat kaya bahan bakar. Mekanisme Lift off ini didasarkan pada ketidakseimbangan antara kecepatan aliran



GAMBAR 2. Visualisasi api difusi dengan kecepatan aliran bahan bakar $V_{bb} = 0,05$ m/s



GAMBAR 3. Visualisasi api difusi dengan kecepatan aliran bahan bakar $V_{bb} = 0,11$ m/s



GAMBAR 4. Visualisasi api difusi pada saat lift off dengan kecepatan aliran bahan bakar $v_{bb} = 0,12$ m/s

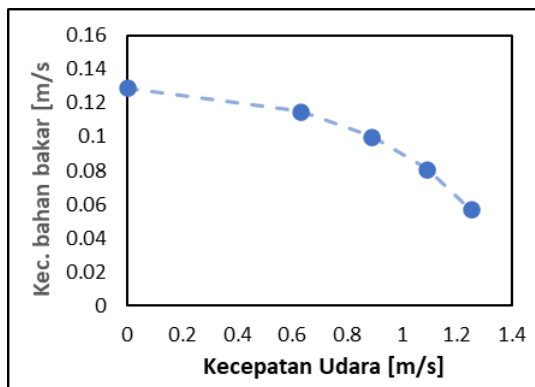
Gambar 2,3 dan 4 memperlihatkan visualisasi api difusi coflow untuk tiga variasi kecepatan bahan bakar yang berbeda yaitu berturut turut

bahan bakar pada pangkal api dan kecepatan penyalaan dalam proses pencampuran antara aliran bahan bakar dan fluida pengoksidasi (Kuo, 1986)

Pada Visualisasi Schlieren Unburned gas tampak bahwa pada pangkal nosel terjadi aliran yang laminar dan saat terjadinya break point aliran berubah menjadi turbulen kondisi ini terjadi pada saat kecepatan bahan bakar 0,05 (m/s) sampai dengan 0,10 (m/s) dan pada saat kondisi aliran laminar menurun dan didominasi aliran yang turbulen yaitu pada saat kecepatan bahan bakar 0,11 (m/s) sampai terjadinya lift off yaitu pada kecepatan 0,12 (m/s), hal ini dikarenakan semakin cepat keluaran bahan bakar, akan terjadi gesekan dan benturandengan dinding pipa bahan bakar sehingga aliran Unburn Gas akan bergerak dalam bongkahan-bongkahan ke kanan ke kiri yang bebas berekspansi ke arah keluar.

2. Diagram Kestabilan Api difusi.

Diagram kestabilan api difusi dibagi menjadi dua bagian dengan melihat kecenderungan batas yang terjadi yaitu daerah api Stabil, dan daerah api lift off. Batas masing-masing daerah tersebut di dapat dengan menarik batas ketika api dalam kondisi Stabil maupun lift off.



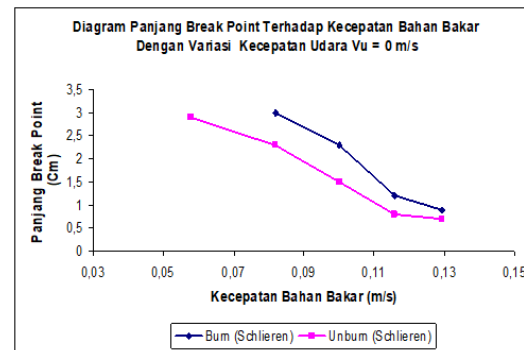
GAMBAR 5. Kestabilan Api Difusi

Gambar 5 menampilkan diagram kestabilan api difusi pada berbagai variasi kecepatan aliran udara, dan bahan bakar. Pada gambar tersebut terlihat daerah api stabil berada di bawah garis kestabilan sedangkan daerah api lift off berada di atas garis kestabilan api. Pada kecepatan aliran udara 0 (m/s) proses lift off terjadi pada kecepatan aliran bahan bakar 0,12934 (m/s), sedangkan pada kecepatan aliran udara 0,62990 (m/s) proses lift off terjadi pada kecepatan aliran bahan bakar 0,11568 (m/s). Dari kedua

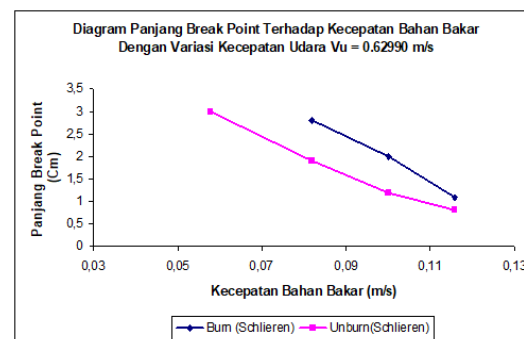
kondisi tersebut terlihat bahwa semakin cepat aliran udara, maka proses pencampuran antara bahan bakar dan udara juga semakin cepat, akibatnya konsentrasi terbesar udara terjadi pada ujung pipa, sehingga api cepat lift. Terjadinya lift off sendiri karena pada pangkal api terjadi ketidakseimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar pada pangkal api dengan kecepatan penyalaan dalam proses pencampuran antara bahan bakar dan fluida pengoksidasi yaitu udara (Turns, 1996).

3. Diagram Panjang Break Point

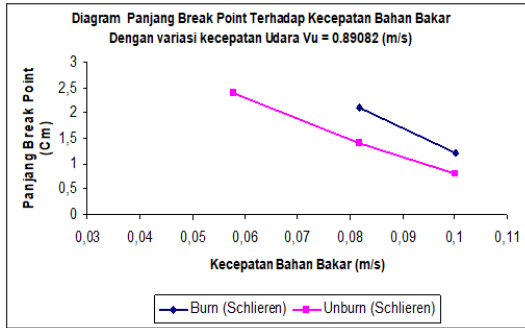
Panjang break point adalah batas terjadinya aliran laminar dan turbulen yang mana terjadi pada kondisi masing-masing variasi kecepatan bahan bakar dan udara. Dari data Visualisasi Schlieren Photograph hanya dilakukan pada saat keadaan campuran antara bahan bakar dan udara berupa unburned gas (tidak nyala) dan burned gas (nyala).



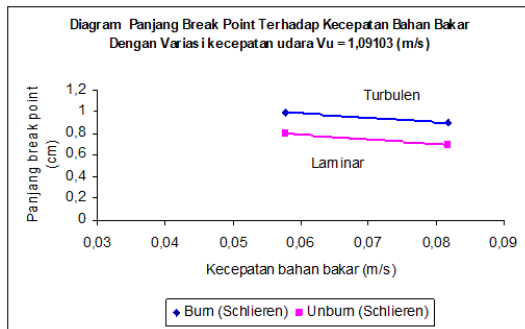
A. Tanpa Kecepatan aliran udara



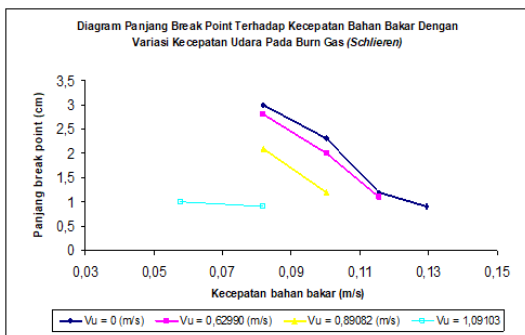
B. kecepatan udara Vu = 0,62990 m/s



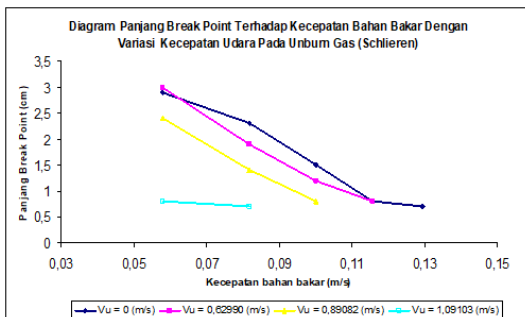
C. kecepatan udara Vu = 0,89082 m/s



D. kecepatan udara Vu = 1,09103 m/s



E. Panjang break point Pada burn Gas (Schlieren)



F. Panjang break point Pada Unburn Gas (Schlieren)

GAMBAR 6. Diagram panjang break point pada berbagai kondisi

Gambar 6 (a) menampilkan diagram panjang Break point tanpa variasi kecepatan aliran udara 0 (m/s). Panjang break point akan menurun seiring dengan penambahan kecepatan aliran bahan bakar. Pada kecepatan bahan bakar 0,05784 (m/s) posisi panjang break point hanya terjadi pada saat unburn gas saja yaitu 2,9 (Cm) sedangkan pada burn gas mengalami panjang Break point yang tak hingga. Pada gambar 6 (a),(b),(c),(d) terlihat api laminar dan turbulen. Panjang api laminar akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakar dan panjang api turbulen akan mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakarnya. Kemudian panjang api total akan menurun karena kecepatan pengadukan api yang turbulen. Perbandingan luasan daerah api laminar pada berbagai variasi kecepatan aliran udara dan yang mempunyai luasan daerah api laminar terbesar ditunjukkan pada gambar 6(e), (f).

Pada gambar 6(b) dan 6(c) menunjukkan diagram panjang Break point dengan kecepatan aliran udara 0,62990 (m/s) dan 0,0818 (m/s). Semakin cepat aliran udara seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakar daerah api laminar akan menurun. Penurunan daerah api laminar lebih kecil dibandingkan dengan variasi kecepatan aliran udara sama dengan 0 (m/s). Hal ini dikarenakan pada kecepatan aliran udara yang relative meningkat maka udara akan mengalami resirkulasi, yang mengakibatkan reaksi kimia lebih cepat. Dalam hal ini bahan bakar akan mengalami pemanasan awal yang mengakibatkan molekul – molekul beraksi menjadi lebih aktif mengadakan tumbukan. Dari hal tersebut pembakaran akan menjadi lebih baik. Suatu proses pembakaran akan berlangsung dengan baik jika memenuhi tiga syarat, yaitu bahan bakar, pengoksidasi dan temperature awal yang mencukupi (Kuo, 1986). Pada aliran udara 0,62990 (m/s) proses break point terjadi pada kecepatan aliran bahan bakar 0,0818 (m/s) dengan panjang break point 2,8 (Cm) pada Burn gas, pada Unburn gas terjadi break point pada kecepatan bahan bakar 0,05784 (m/s) dengan panjang 3 (Cm). Sedangkan pada kecepatan aliran udara 0,89082 (m/s) proses break point terjadi pada kecepatan bahan bakar 0,08180 (m/s) pada burn gas dengan panjang 2,1 (Cm), Unburn gas terjadi pada kecepatan 0,05784 (m/s) dengan panjang 2,4 (Cm)

Pada gambar 6(d) terlihat bahwa pada variasi kecepatan udara 1,09103 (m/s) panjang

break point lebih menurun atau dengan kata lain daerah laminar berubah semakin lebih kecil dibandingkan dengan variasi kecepatan udara 0 (m/s), 0,62990 (m/s), 0,08180 (m/s). Jika semakin besar kecepatan aliran udara maka resirkulasi yang terjadi juga semakin meningkat hal ini mengakibatkan kondisi kestabilan api semakin berkurang. Pada kecepatan aliran udara 1,09103 (m/s) proses Break point terjadi pada kecepatan aliran bahan bakar 0,05784 (m/s) dengan panjang Break point pada Burn gas 1 (Cm), Unburn gas 0,8 (Cm). Pada kecepatan udara 1,09103 (m/s) ini resirkulasi yang terjadi pada kondisi maksimum, proses pencampuran bahan bakar dan udara pembakaran lebih cepat terjadi sehingga mempunyai hambatan berupa benturan dan gesekan dengan dinding pipa udara.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengamati tentang kestabilan api difusi pada coflow burner yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran bahan bakar dan udara pembakaran. Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semakin besar kecepatan aliran udara maka kondisi Kestabilan semakin berkurang seiring penambahan kecepatan bahan bakar. Bila penambahan bahan bakar terus dinaikkan api akan berubah menjadi kondisi Lift off.
2. Panjang api laminar akan mengalami penurunan dan panjang api turbulen akan mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakarnya.
3. Kecepatan aliran udara rendah dan kecepatan aliran bahan bakar rendah, api hampir seluruhnya berada pada kondisistabil pada kondisi ini campuran bahan bakar akan membentuk kurva mulus U dan jenis aliran yang terjadi pada pangkal nosel adalah laminar.
4. Dan pada saat kecepatan aliran relatif besar aliran akan berubah menjadi turbulen. Dan saat lift off pangkal api tetap di dominasi oleh warna biru. Sedangkan pada kondisi Unburn Gas perubahan aliran terbesar terjadi pada kecepatan saat kecepatan bahan bakar 0,11568 (m/s).
5. Dengan peningkatan kecepatan bahan bakar dan kecepatan udara, luasan lebar aliran akan meningkat. Pada saat kecepatan udara dan bahan bakar rendah terjadi penambahan lebar aliran dari mulut nosel sampai pada ketinggian tertentu. Dan Pada saat kecepatan yang relative tinggi terjadi penambahan lebar aliran berubah tak beraturan hingga terjadi lift off. Dan pada saat Unburn gas semakin cepat kecepatan aliran udaramaka luasan lebar alirannya semakin meluas. karena adanya zona resirkulasi yang terbentuk pada suatu wilayah sekitar ujung nosel bahan bakar dan udara yang akan mengakibatkan aliran mudah menyebar

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah mendanai penelitian ini melalui dana DIPA Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

DAFTAR PUSTAKA

- F.Takahashi, M. Mizomoto, S. I. (1982). Transition from laminar to turbulent free jet diffusion flames. *Combustion and Flame*, 48, 85–95.
- Hedman, Paul O., Flores, D. V. dan F. T. H. (2002). *Observation of Flames Behavior in A Laboratory*.
- Jeon, D. S., Hwang, G. J., Jang, H. J., & Kim, N. Il. (2022). Lift-off characteristics of non-premixed jet flames in laminar / turbulent transition. *Combustion and Flame*, 238, 111948. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111948>
- Kuo, K. (1986). *Principles of Combustion* (John Wiley).
- Sellan, D., & Balusamy, S. (2021). *Experimental study of swirl-stabilized turbulent premixed and stratified LPG / air flames using optical diagnostics*. 121(August 2020).
- Takahashi, F. and S. W. J. (1990). Lifting Criteria Of Jet Diffusion Flame. *Twenty – Third Symposium (International) on Combustion*, 677–683.

Turns, S. R. (1996). *An Introduction to Combustion* (McGraw-Hil).

WIJAYANTI, Widya and , Dr.Eng. Tri Agung R., B.Eng., M. E. (2002). *Studi kestabilan api difusi Double concentric jet flow (Pengaruh posisi central fuel tube)*.

PENULIS:

Mega Nur Sasongko

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Brawijaya, Malang.

Email: megasasongko@ub.ac.ud

Widya Wijayanti

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Brawijaya, Malang