

SUBMISSION 75

Pengaruh Arah Pancungan *Nozzle* Terpancung Terhadap Kestabilan Api Difusi *Concentric Jet Flow*

Ahmad Akromul Huda^{1,*}, Agung Sugeng Widodo¹, Eko Siswanto¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Abstrak. Bentuk *nozzle* burner sangat mempengaruhi turbulensi antara bahan bakar dan udara yang mengakibatkan terbentuknya zona resirkulasi aliran. Zona resirkulasi aliran berfungsi menghasilkan pencampuran yang homogen dan mendapatkan pembakaran yang mendekati sempurna. Zona resirkulasi dibentuk untuk mengganggu laju aliran, menyebabkan *vortex* dan arus balik di sekitar ujung *nozzle*. Penelitian ini menggunakan burner *concentric jet flow*. Variasi bentuk *nozzle* menggunakan arah pancungan *nozzle* terpancung diameter luar ke dalam *nozzle DL*, diameter dalam ke luar *nozzle DD*, dan sebagai perbandingan digunakan *nozzle* tanpa pancungan *nozzle TP*. Untuk memperoleh kestabilan nyala api, batas *lift off* dan *blow off* digunakan dengan variasi kecepatan udara. Termokopel digunakan untuk mengukur suhu nyala api dan distribusinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kestabilan api difusi *concentric jet flow* berpengaruh pada penggunaan *nozzle* terpancung. Temperatur api difusi *concentric jet flow* tertinggi pada *nozzle TP*. Pembakaran paling sempurna terlihat pada *nozzle DD* dimana api lebih lebih didominasi warna biru.

Kata kunci— *nozzle terpancung; zona resirkulasi aliran; concentric jet flow; kestabilan api*

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan modern saat ini, teknologi pembakaran merupakan aspek penting dalam kehidupan manusia. Sejak api pertama dinyalakan, manusia mengandalkan pembakaran sebagai sumber energi untuk berbagai keperluan dalam hidupnya, maka pembakaran banyak diteliti dan dikaji. Salah satu aspek kajian ilmu pada penelitian pembakaran ialah aerodinamika pembakaran. Proses pembakaran yang ditinjau dari aspek aliran, gesekan api, kesetabilan nyala dan fenomena transport yang terjadi di sebut aerodinamika pembakaran [1]. Pembakaran yang sering digunakan dalam kehidupan sehari – hari ialah pembakaran difusi. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar atau proses pembakaran [2].

Pembakaran difusi memiliki kelebihan pada segi keamanan karena tidak terjadi *flashback* akibat api yang menjalar ke sumber bahan bakar. Disisi lain sulitnya mendapatkan komposisi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara merupakan kekurangan pembakaran difusi. Maka salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan cara mendesain sistem pembakaran difusi yang optimal, sehingga didapatkan suatu desain yang efektif dan efisien [3]. Salah satu faktor yang penting untuk mengoptimalkan pembakaran difusi adalah bentuk geometri burner. Pada proses pencampuran antara bahan bakar dan udara, kehadiran vorteks-vorteks akibat bentuk geometri burner berperan penting sebagai pengaduk aliran yang akan mempengaruhi karakteristik pembakaran.

Ada dua kondisi kritis aliran yang mempengaruhi kestabilan api yaitu *lift off* dan *blow off*. *Lift off* terjadi akibat ketidak seimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar pada pangkal api dan kecepatan penyalan dalam proses pencampuran antara aliran *jet* bahan bakar dengan udara pengoksidasi [4]. Dari beberapa penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa peristiwa api lift tergantung pada lip thickness burner, diameter burner, dan bentuk burnernya [2].

Faizal [3] meneliti *nozzle* terpancung menggunakan model combustor *concentric jet flow* untuk mengetahui pengaruh variasi lip thickness nozel terpancung terhadap karakteristik api difusi. Dimana hasilnya menunjukkan semakin kecil lip thickness yang digunakan, maka luasan daerah kestabilan memiliki

* Corresponding author: akromul91@gmail.com

kecenderungan semakin bertambah. Namun pada penelitian ini peneliti belum meneliti mengenai pengaruh variasi lip thickness dari diameter luar ke diameter dalam *nozzle*. Arah pancungan yang digunakan ialah dari diameter dalam ke diameter luar. Pada combustor *concentric jet flow* penambahan aliran udara membuat karakter api laminer berubah menjadi api turbulen. Selama periode transisi ini, bibir api menjadi turbulen sedangkan pangkalnya bertahan laminer. Penambahan lebih besar lagi kecepatan aliran akan menghasilkan pengurangan panjang daerah laminar [5].

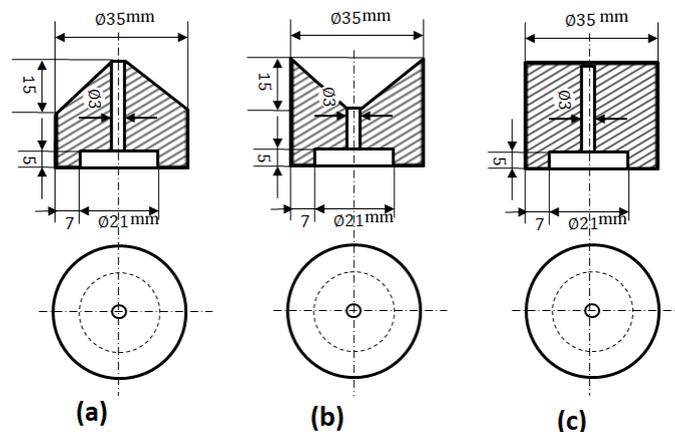
Maka pada penelitian kali ini penulis meneliti kestabilan api menggunakan *nozzle* dengan lip thickness terpancung pada tipe burner *concentric jet flow* dengan variasi arah pancungan baik dari diameter dalam ke diameter luar maupun sebaliknya. Sehingga dapat diketahui pengaruh arah pancungan *nozzle* terhadap kestabilan api difusi. Lip thickness dan pancungan burner akan berpengaruh terhadap kestabilan api non-premixed akibat perubahan zona resirkulasi aliran. Perubahan zona resirkulasi aliran membentuk *vortex* (pusaran) yang memecah laju aliran yang dapat menyempurnakan proses pembakaran. Kestabilan api difusi juga dipengaruhi oleh temperatur pembakaran karena semakin tinggi kestabilan api difusi maka temperatur pembakaran juga semakin tinggi [6]. Faktor penting untuk meningkatkan temperatur pembakaran adalah proses pencampuran antara bahan bakar dengan udara.

2. Metode Penelitian

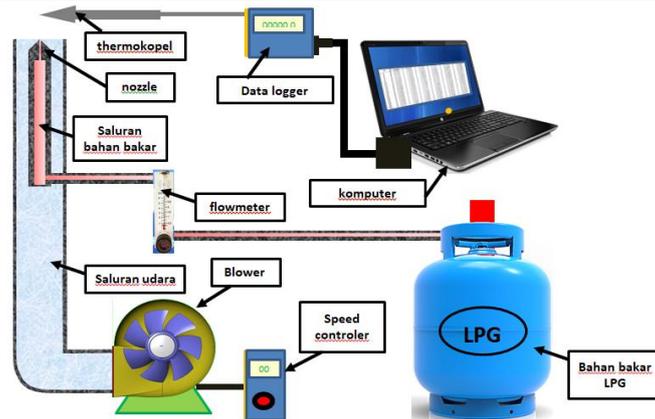
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan perangkat penelitian dibuat dalam skala laboratorium.

2.1 Bahan Dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini digunakan burner tipe *concentric jet flow*. *Nozzle* yang digunakan ialah *nozzle* terpancung dengan arah dari diameter luar ke diameter dalam (*nozzle DL*), *nozzle* terpancung dengan arah dari diameter dalam ke diameter luar (*nozzle DD*), dan *nozzle* tanpa pancungan (*nozzle TP*). Bentuk *nozzle* dan skema instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Bentuk Nozzle : (a) *nozzle DL*; (b) *nozzle DD*; (c) *nozzle TP*



Gambar 2. Instalasi penelitian

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG dengan tipe concentric jet flow burner. Pada ujung ruang bakarnya dipasang Nozel. Ruang bakar terdiri dari saluran bahan bakar dengan diameter 0,3 mm dan saluran udara dengan diameter 74 mm. Saluran bahan bakar dihubungkan ke tangki LPG dan kecepatan alirnya diukur dengan menggunakan rotameter. Sedangkan saluran udara dialiri udara yang berasal dari sebuah blower dan besar kecilnya kecepatan udara diatur dengan sebuah katup dan speed controller.

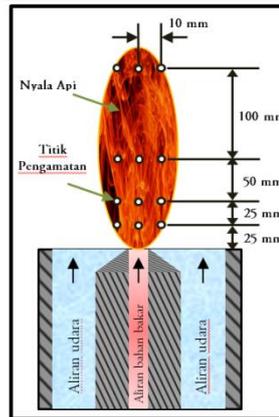
2.2 Prosedur Penelitian

Pengujian kestabilan api

Pengujian kestabilan api dimulai dengan menyalakan blower udara untuk mengukur kecepatan udara pada burner menggunakan anemometer. Variasi Kecepatan yang digunakan ialah 2.05 m/s, 3.56 m/s, 4.60 m/s, 5.82 m/s dan 7.12 m/s. Selanjutnya memasang nozzle DL kemudian membuka katup bahan bakar dan menyalakan api pada burner dan menyalakan blower udara. Selanjutnya mengatur aliran bahan bakar pada kondisi api stabil yaitu 3 l/min dan 4.5 l/min dan mengambil gambar visualisasi dengan menggunakan kamera digital Nikon D3200. Selanjutnya meningkatkan aliran bahan bakar hingga nyala api pada kondisi *lift off* dan kemudian *blowoff*. Mencatat debit bahan bakar pada rotameter setiap kondisi yang nantinya akan dikonversikan menjadi kecepatan bahan bakar. Tahap pengujian kestabilan api pada $V_u = 2.05$ m/s telah dilakukan, maka dilanjutkan pengamatan dengan variasi kecepatan udara lainnya dengan cara yang sama pada. Setelah melakukan pengambilan data dengan menggunakan *nozzle DL* tahap pengujian berikutnya dengan mengganti *nozzle DL* dengan *nozzle DD* dan *nozzle TP*.

Pengujian Distribusi Temperatur

Tahap awal pengujian distribusi temperature dimulai dengan memasang *nozzle DL* pada burner. Menyalakan api pada burner kemudian mengatur kondisi udara pada $V_u = 3.56$ m/s dan bahan bakar $V_b = 4,5$ l/m. Selanjutnya memasang termokopel pada titik yang telah ditentukan dimana titik tinjau yang digunakan berjarak 10 mm dalam arah horizontal. Jarak titik tinjau vertikal 25 mm, 50 mm, 100 mm, dan 200 mm. Termokopel dihubungkan pada data loger yang terhubung dengan komputer untuk mencatat data temperature api difusi. Titik pemasangan termokopel pengamatan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

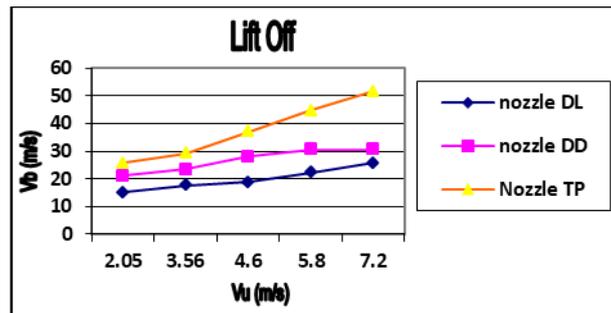


Gambar 3. Titik pengamatan temperatur api difusi

3. Hasil dan Pembahasan

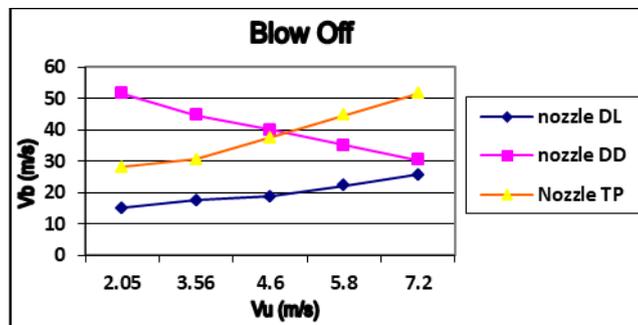
Data yang diperoleh dari penelitian meliputi data *lift off* dan *blow off*, distribusi temperatur nyala api dan direct photograph. Masing-masing data menunjukkan karakteristik kestabilan api difusi dengan pengaruh arah pancung pada nozzle terpancung.

3.1 Diagram Kestabilan Api Difusi



Gambar 4. Diagram kestabilan lift off pada nozzle terpancung.

Dari grafik diatas pada variasi nozzle terpancung *Nozzle DL*, *Nozzle DD*, dan *Nozzle TP*, terlihat bahwa semakin besar aliran udara maka *lift off* memiliki kecenderungan semakin lambat terjadi. Hal ini dikarenakan meningkatnya aliran udara, maka proses pencampuran antara bahan bakar dan udara meningkat. Hal tersebut menyebabkan titik pangkal nyala api semakin sulit terangkat menjauhi ujung nozzle.

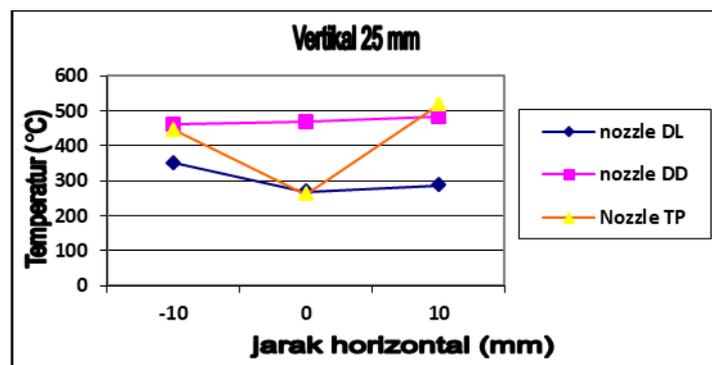


Gambar 5. Diagram kestabilan blow off pada nozzle terpancung

Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan perbedaan arah pancung pada nozzle terpancung membuat daerah kestabilan api berubah. *Nozzle DL* memiliki batas *blow off* paling rendah dikarenakan waktu yang diperlukan untuk melakukan reaksi tidak cukup dibandingkan dengan waktu mengalirnya bahan bakar.

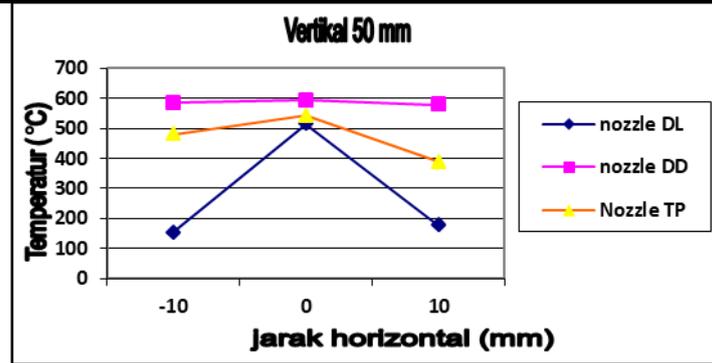
Namun sejalan dengan makin meningkatnya aliran bahan bakar membuat batas *blow off* semakin bertambah. Hal ini dikarenakan adanya *vortex* (pusaran) yang terbentuk dibawah nyala api oleh aliran udara yang membuat campuran antara udara dan bahan bakar lebih cepat. Untuk *nozzle TP* memiliki batas *blow off* yang lebih tinggi dari *nozzle DL* karena luasan lip thickness pada *nozzle* yang membuat terbentuknya *vortex* yang akan semakin meningkatkan konsentrasi campuran udara dan bahan bakar. Untuk *nozzle DD* memiliki batas *blowoff* paling tinggi pada kecepatan udara yang rendah dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran udara. Hal ini terjadi karena semakin cepat aliran udara, membuat kecepatan pencampuran antara bahan bakar dan udara meningkat, sehingga mengecilkan Damkohler number (Da). Hal ini membuat waktu yang tersedia untuk melakukan reaksi (characteristic chemical time) tidak mencukupi dibandingkan dengan waktu mengalirnya reaktan (characteristic flow time). Meskipun campuran antara bahan bakar dan udara masih dalam batas mampu nyala namun hal tersebut mengakibatkan api mengalami *blow off*.

3.2 Diagram Distribusi Temperatur Api Difusi



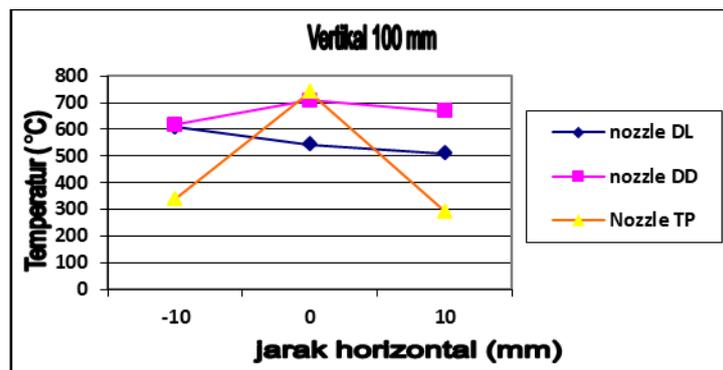
Gambar 6. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 25 mm

Gambar 6 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak 25 mm menyebabkan perubahan temperatur yang berbeda untuk setiap *nozzle*. Temperature tertinggi berada pada titik tinjau 0 mm arah horizontal untuk *nozzle DD* dan terendah pada titik tinjau 0 mm arah horizontal untuk *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Sedangkan pada titik tinjau -10 dan 10 mm temperatur yang dihasilkan cenderung lebih rendah untuk *nozzle DD* dan cenderung tinggi pada *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran bahan bakar masih terpusat ditengah dan terpusat ke ujung *nozzle* pada *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Pada bagian sisi *nozzle DD*, proses pencampuran antara bahan bakar dan udara tercampur dengan baik oleh *vortex* yang terbentuk oleh kontur dan pancung pada *nozzle*. Pada *nozzle DL* dan *nozzle TP* zona resirkulasi aliran terbentuk pada ujung *nozzle*. Zona resirkulasi aliran menyebabkan timbulnya *vortex* (pusaran) dan aliran balik di sekitar ujung *nozzle* yang berfungsi mengaduk pencampuran antara bahan bakar dan udara. Proses pencampuran reaktan dan udara pada bagian sisi *nozzle* tidak hanya melau proses difusi tetapi juga akibat adanya *mixing* aliran. *Mixing* aliran dapat membuat campuran bahan bakar dan udara lebih homogen untuk menyempurnakan pembakaran, sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 50 mm

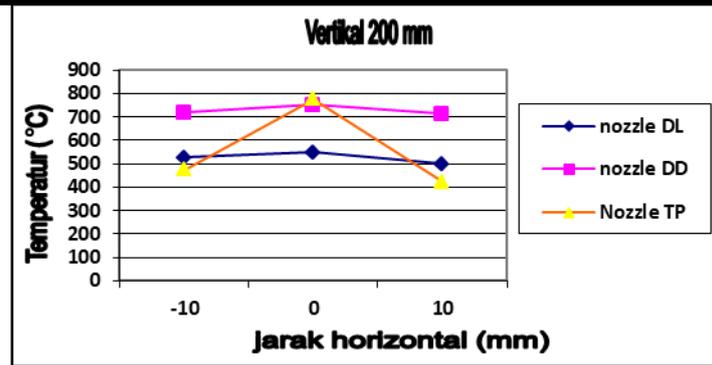
Gambar 7 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak 50 mm yang berbeda dengan profil pada titik tinjau vertikal 25 mm untuk setiap nozzle. Pada titik tinjau 0 mm horizontal temperature seluruh nozzle mengalami peningkatan. Temperature tertinggi berada pada titik tinjau 0 mm horizontal untuk nozzle DD dan lebih rendah untuk nozzle TP dan terendah nozzle DL. Pada titik tinjau -10 dan 10 mm temperatur yang dihasilkan cenderung melandai dengan titik tinjau 0 mm horizontal untuk nozzle DD. Hal berbeda ditunjukkan pada nozzle DL dan nozzle TP yang cenderung lebih rendah dari titik tinjau 0 mm horizontal. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran bahan bakar terpusat pada bagian tengah pada nozzle DL dan nozzle TP. Karena zona resirkulasi aliran yang terbentuk pada titik tinjau vertikal 25 mm campuran bahan bakar dan udara terlebih dahulu menyala pada titik tinjau tersebut sebelum sampai pada titik tinjau 50 mm.



Gambar 8. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 100 mm

Gambar 8 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak vertikal 100 mm. Pada jarak ini secara umum tetap terlihat temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Temperatur tertinggi terletak pada titik tinjau 0 mm untuk nozzle TP kemudian nozzle DD terendah nozzle DL. Hal ini mengindikasikan pada jarak vertikal 100 mm nozzle TP memiliki pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik dari nozzle lainnya. Pada titik tinjau horizontal -10 mm dan 10 mm nozzle TP dan nozzle D memiliki temperatur yang lebih rendah dari titik 0 mm horizontal. Nozzle TP terendah diantara nozzle lainnya ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dan udara masih terpusat ditengah. Sedangkan untuk nozzle DL memiliki nilai yang lebih tinggi dari titik 0 mm horizontal dikarenakan api mulai melebar pada titik tersebut.

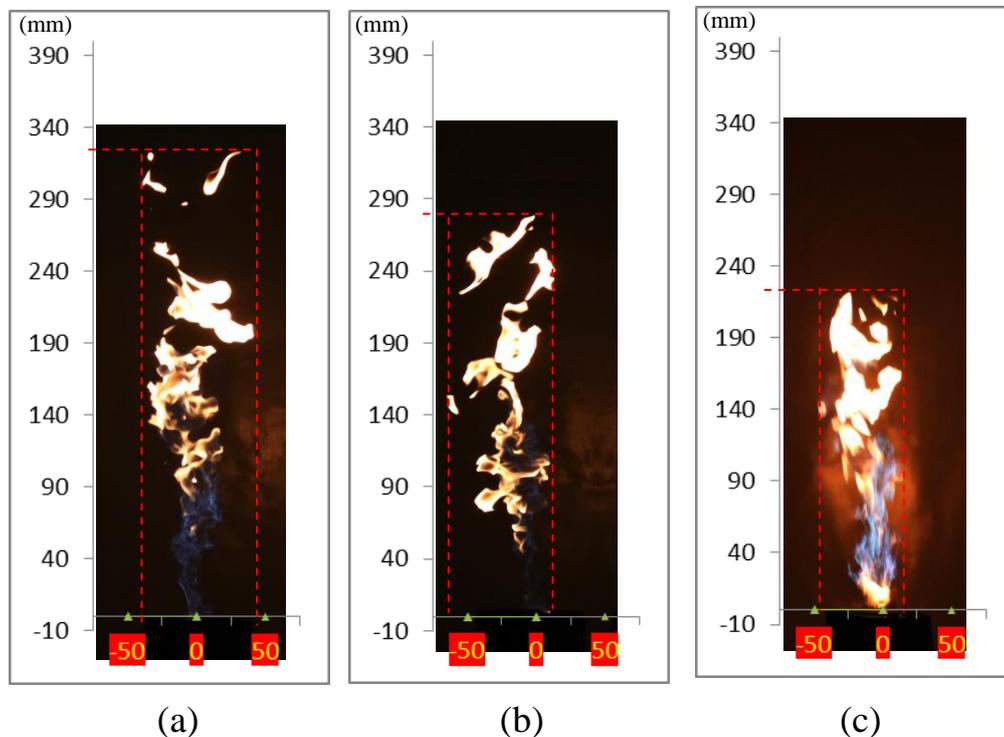
Gambar 9 menunjukkan pada jarak vertikal 200 mm secara umum temperatur tertinggi untuk semua nozzle pada jarak horizontal 0 mm atau tengah api. Temperatur terendah ada pada nozzle DL dan temperatur tertinggi dimiliki oleh nozzle TP yang nilainya cenderung identik atau berhimpit dengan nozzle DD. Pada titik ini merupakan reaksi puncak pembakaran, karena pada semua nozzle arah aliran bahan bakar cenderung terfokus pada bagian tengah api. Pada ketinggian ini didapatkan temperatur tertinggi dari setiap nozzle karena reaksi pembakaran semakin baik akibat reaktan telah mengalami pemanasan awal pada daerah dibawahnya.



Gambar 9. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 200 mm

3.3 Visualisasi Api Difusi

Gambar 10 menunjukkan visualisasi api secara *direct photograph* dengan variasi arah pancungan *nozzle* terpancung. Kondisi yang sama antara kecepatan udara dan bahan bakar yang digunakan yaitu $V_u = 3,56$ m/s dan $V_b = 4.5$ l/m. Dari gambar 10 (a) terlihat bahwa dengan penggunaan *nozzle DD* terpancung pangkal api terlihat kecil dan semakin melebar keatas seiring bertambahnya tinggi api. Warna pangkal api juga masih didominasi warna biru yang menunjukkan proses pencampuran bahan bakar dan udara semakin sempurna. Api terpanjang ditunjukkan pada *nozzle DD* dan terpendek pada *nozzle TP*. Pada gambar 10 (b) mulai terlihat efek perubahan arah pancungan pada *nozzle DL* terpancung. Dimana dengan penggunaan *nozzle DL* terlihat nyala api yang menempel pada pancungan nozzle akibat *vortex* dan menjadi lebih kecil pada jarak vertikal 50 mm. Dari gambar tersebut juga api terlihat membesar kembali pada jarak setelahnya. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pusaran udara yang mengaduk bahan bakar yang keluar nozzle pada pangkal api. Kemudian dari gambar 10 (c) jelas terlihat zona resirkulasi pada pangkal api akibat lip thickness *nozzle TP* (tanpa pancungan). Pada nozzle ini juga diindikasikan warna pangkal api juga masih didominasi warna kuning yang menunjukkan sebagian besar proses pencampuran bahan bakar dan udara masih melalui proses difusi.



Gambar 10. Visualisasi api *direct photograph*: (a) *nozzle DD* (b) *nozzle DL* (c) *nozzle TP*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Arah pancung pada *nozzle* terpancung dapat mempengaruhi kestabilan api, distribusi temperatur api dan tinggi visualisasi api. Kestabilan api difusi *concentric jet flow* terbesar diperoleh pada penggunaan *nozzle DD* terpancung. Pembakaran paling sempurna terlihat pada *nozzle DD* dimana api lebih lebih didominasi warna biru.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wardana, I.N.G, *Bahan Bakar Dan Teknologi Pembakaran* (PT. Danar Wijaya–Brawijaya University Press, Malang, 2008)
2. Takahashi, F., et al, *Vortex-Flame Interactions and Extinction in Turbulent Jet Diffusion Flames*, **26th Symposium International on Combustion**, 145–152 (1996)El-Mahallawy, Fawzy., El-Din Habik, Saad, "*Fundamentals And Technology Of Combustion*". 261-263 (United Kingdom: Elsevier, 2002)
3. Soenoko, R., *The Effect of a Flame Holder Shape Modification Toward the Diffusion Flame Stability Zone Shift*, **8(3)**, (World Applied Sciences Journal, 2010)
4. Faizal, Elka, *Pengaruh Variasi Lip Thickness pada Nozzle Terpancung terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi Concentric Jet Flow*, **Vol.7, No.2**: 13-20 (Jurnal Rekayasa Mesin Malang, 2016)
5. El-Mahallawy, Fawzy., El-Din Habik, Saad, "*Fundamentals And Technology Of Combustion*". 261-263 (United Kingdom: Elsevier, 2002)
6. Glassman, Irvin, "*Combustion*", (Department of Mechanical Engineering and aerospace Engineering, Princenton, New Jersey, 1987)