

PENGARUH JUMLAH SUDU SWIRL VANES TERHADAP VISUALISASI DAN DISTRIBUSI TEMPERATUR API DIFUSI

Radissa Dzaky Issafira, Widya Wijayanti, Haslinda Kusumaningsih
 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
 Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
 E-mail: radissa28@gmail.com

ABSTRAK

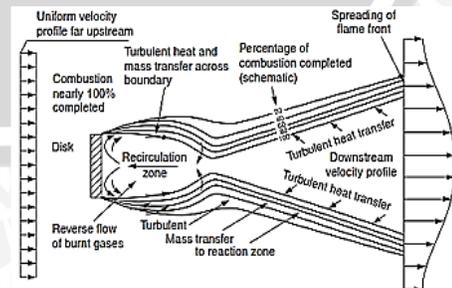
Pembakaran sebagai salah satu proses konversi energi yang paling sering digunakan, mengakibatkan pembakaran menjadi perhatian utama dalam usaha penghematan energi. Pada umumnya penghematan energi ditekankan pada pemakaian bahan bakar namun dalam hal ini penghematan energi juga dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi pembakaran. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dapat dilakukan dengan merubah geometri burner dengan menambahkan swirl vanes pada saluran udara pembakaran difusi. Swirl vanes merupakan instrumen penghalang atau pengganggu aliran api yang dapat memperbaiki stabilitas api dengan menciptakan aliran turbulen yang akan menghasilkan zona resirkulasi. Resirkulasi akan meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara pada pembakaran difusi. Berdasarkan hal ini maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh jumlah sudu swirl vanes terhadap visualisasi dan distribusi temperatur api difusi dengan bahan bakar gas metana (CH₄). Data visualisasi diambil menggunakan kamera digital dan distribusi temperatur menggunakan thermocouple jenis K pada beberapa titik tertentu pada jarak horizontal dan vertikal. Pada penelitian ini digunakan swirl dengan variasi jumlah sudu 4, 6, dan 8. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah sudu menunjukkan visualisasi api dengan tinggi yang semakin menurun dan distribusi temperatur rata rata yang semakin tinggi dari jumlah sudu swirler 4, 6, dan 8 berturut turut yaitu 396.906, 406.552, dan 537.564 °C.

Keywords: swirl vanes, jumlah sudu, visualisasi, distribusi temperatur

PENDAHULUAN

Pembakaran merupakan salah satu jenis aliran reaktif karena pada prosesnya terdapat reaktan yaitu bahan bakar dan udara yang dirubah menjadi produk yang memancarkan nyala api dan panas. Salah satu jenis pembakaran adalah pembakaran difusi, yaitu proses pembakaran di mana bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau oksigen) tidak dicampur secara mrkanik, melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi. Proses pembakaran difusi banyak dijumpai dalam sistem pembakaran industri, seperti boiler, turbin gas dan pembangkit listrik tenaga uap. Karena pembakaran merupakan salah satu proses konversi energi yang paling sering digunakan, sehingga pembakaran menjadi sebuah perhatian utama dalam usaha penghematan energi. Pada umumnya penghematan energi ditekankan pada pemakaian bahan bakar namun dalam hal ini penghematan energi juga dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi pembakaran [1]. Salah satu usaha untuk menungkatkan efisiensi bahan bakar dengan merubah geometri burner dengan menambahkan swirl vanes.

Swirl vanes merupakan instrumen penghalang atau pengganggu aliran api yang memperbaiki stabilitas api dengan menciptakan aliran turbulen yang akan menghasilkan zona resirkulasi [2]. Di mana zona resirkulasi dapat membakar reaktan dan memanaskan gas bahan bakar yang baru keluar sehingga bahan bakar mengalami pemanasan awal yang akan menyebabkan pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik [3]. Skema resirkulasi dapat dilihat pada Gambar 1. Aliran yang dihalangi oleh swirl vanes akan menyebabkan turbulensi sehingga meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara pada pembakaran difusi.



Gambar 1. Zona Resirkulasi dan Daerah Pancaran Api

Pada penelitian sebelumnya disebutkan bahwa besar sudut *swirl vanes* berpengaruh terhadap kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi annulus jet. Semakin besar sudut *swirl vanes* yang dipasang pada annulus udara mengakibatkan kestabilan nyala api difusi annulus jet semakin meningkat dan temperatur api difusi annulus jet semakin terdistribusi dengan merata ke arah horizontal [4]. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa penambahan *swirl vanes* pada *burner* meningkatkan kestabilan api, dan dari hasil visualisasi didapatkan bahwa aliran yang menyebar karena gaya sentrifugal akan meningkatkan kestabilan api.

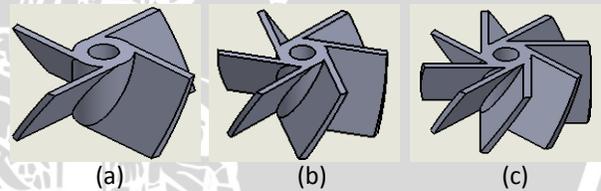
Pengaruh hambatan berupa *fractal grid* pada *burner* dengan peletakkan *swirl* rendah telah dilakukan sebelumnya. Pengaruh hambatan kisi secara signifikan meningkatkan laju turbulensi pembakaran [5]. Apabila dibandingkan dengan *hexagonal grid*, *fractal grid* menunjukkan turbulensi yang lebih besar ditunjukkan pada laju pembakaran yang semakin tinggi serta visualisasi api yang semakin tebal.

Penelitian mengenai pengaruh kecepatan dan efek turbulensi pada pembakaran yang telah dilakukan menyatakan bahwa kecepatan udara pada pembakaran yang semakin turbulen menurunkan emisi NO [6]. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran antara bahan bakar dan udara semakin baik.

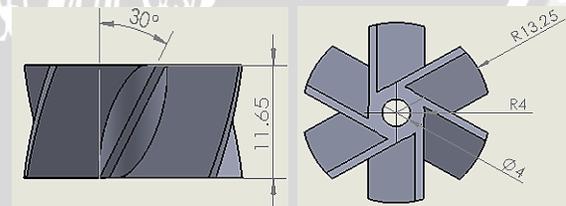
Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut maka dilakukan suatu penelitian mengenai pengaruh jumlah sudu *swirl vanes* sebagai penghambat aliran terhadap visualisasi dan distribusi temperatur api difusi bahan bakar metana. adanya penambahan *swirl vanes* dapat memaksimalkan proses pembakaran sehingga menghasilkan pembakaran yang efisien karena pencampuran udara dan bahan bakar akan semakin baik. Pencampuran udara dan bahan bakar yang baik ditandai dengan semakin tinggi temperatur yang dihasilkan oleh api difusi yang merata di keseluruhan api.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini diambil dua macam data yaitu data visualisasi dan distribusi temperatur. Data visualisasi diambil menggunakan kamera digital untuk kemudian dilihat tinggi dan lebarnya dan disesuaikan dengan skala yang digunakan, sedangkan data distribusi temperatur diambil menggunakan *thermocouple* tipe K yang telah disambung dengan *data logger* yang terhubung dengan *laptop*. Kecepatan udara dihasilkan oleh *blower* udara dengan variasi 0.08 m/s, 0.1 m/s, dan 0.14 m/s yang dihitung berdasarkan beda tekanan pada manometer air. Kecepatan bahan bakar gas metana dengan variasi 1.32 m/s, 2.65 m/s, 3.98 m/s, 5.30 m/s, 6.63 m/s, 7.96 m/s, 9.29 m/s, 10.61 m/s, 11.94 m/s, 13.26 m/s, 14.59 m/s dan 15.92 m/s diatur dengan *flowmeter*. Variasi sudu *swirl vanes* yang digunakan sebanyak 4, 6 dan 8 buah seperti yang terlihat pada Gambar 2. Dimensi *swirl vanes* dapat dilihat pada Gambar 3.

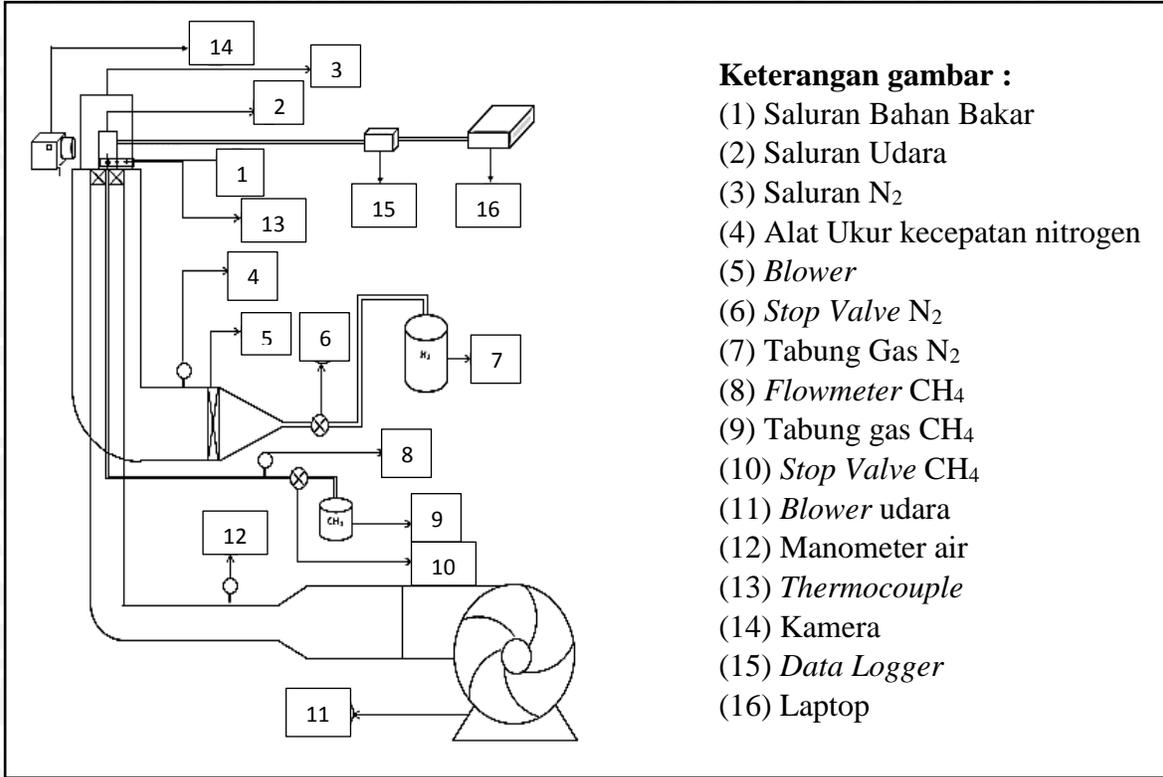


Gambar 2. Variasi *Swirl Vane* (a) Sudu 4 (b) Sudu 6 (c) Sudu 8



Gambar 3. Dimensi *Swirl Vane*

Pada penelitian ini *swirler* akan diletakkan pada saluran udara dan berfungsi sebagai hambatan. Instalasi alat pada penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.



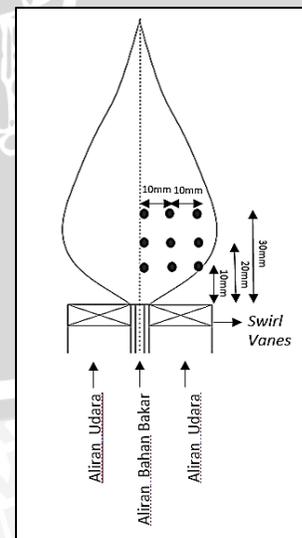
Gambar 4. Skema Instalasi Penelitian

Udara disuplai oleh *Blower* udara melewati manometer untuk melihat kecepatan udara yang tersalurkan pada pipa saluran udara. Bahan bakar gas metana (CH₄) disuplai melalui tabung gas dan diatur menggunakan *stop valve* dengan melihat *flowmeter* CH₄. Apabila kecepatan bahan bakar dan udara telah ditentukan, maka api siap dinyalakan.

Data distribusi temperatur ditentukan di beberapa titik peletakkan *thermocouple* seperti pada Gambar 5.

Pengambilan Data temperatur ditentukan oleh *thermocouple* pada titik yang telah ditentukan secara horisontal dan vertikal. Jarak antar titik sebesar 1 cm. Pada Jarak horisontal akan diambil maksimal 4 titik, dengan selisih 1cm. pada Jarak vertikal diambil temperatur pada titik sesuai dengan ketinggian api, maksimum ketinggian api sebesar 60cm. Pengambilan data temperatur setiap titiknya diambil selama 10 detik. Data temperatur yang telah tersimpan pada *data*

logger kemudian diolah untuk dilihat grafik hubungan distribusi temperatur rata rata pada sumbu x dan kontur distribusi temperatur menggunakan *software origin*.



Gambar 5. Titik Pengukuran Distribusi Temperatur

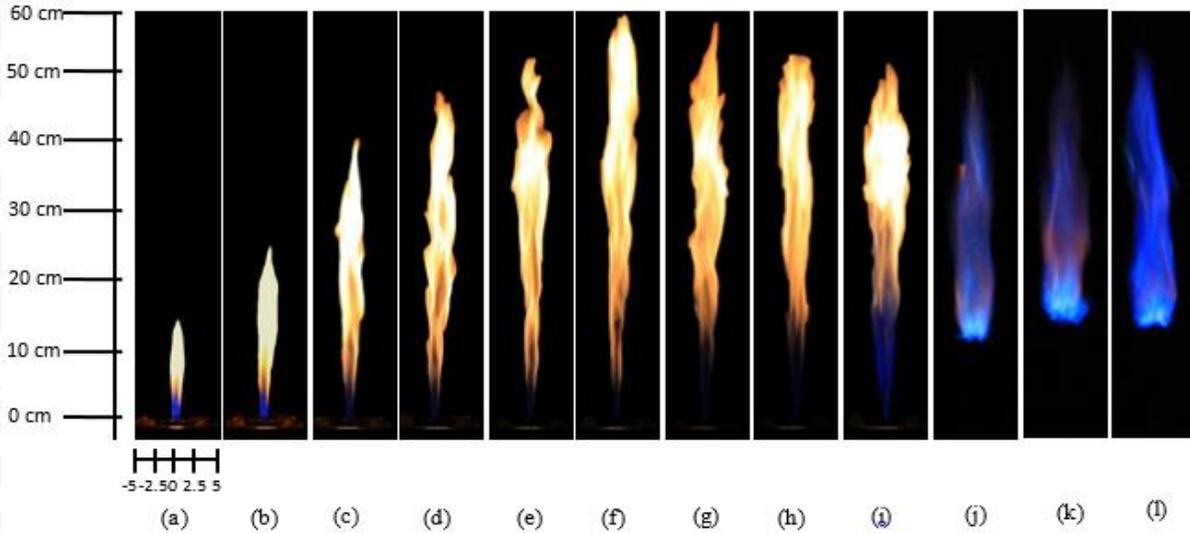
PEMBAHASAN

Visualisasi Api pada Variasi Kecepatan Bahan Bakar

Variasi kecepatan bahan bakar pada *swirl vanes*, dimulai dari kecepatan terendah sebesar 1.32 m/s hingga tertinggi sebesar 15.92 m/s. Kecepatan bahan bakar yang divariasikan berdasarkan variasi debit aliran

bahan bakar sebanyak 12 kali dimulai dari 1 lt/min hingga 12 lt/min dengan tiap penambahan debit sebesar 1 lt/min.

Untuk melihat pengaruh variasi kecepatan bahan bakar, kecepatan udara dijaga konstan sebesar 0.08 m/s. Pada data visualisasi akan dilihat perubahan ketinggian dan lebar api difusi.



Gambar 6. Visualisasi Api pada Kecepatan Udara $0,08 \text{ m.s}^{-1}$ dengan Pemasangan *Swirl* sudu 4 pada Berbagai Variasi Kecepatan Bahan Bakar

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| (a) 1.32 m.s^{-1} | (d) 5.30 m.s^{-1} | (g) 9.29 m.s^{-1} | (j) 13.26 m.s^{-1} |
| (b) 2.65 m.s^{-1} | (e) 6.63 m.s^{-1} | (h) 10.61 m.s^{-1} | (k) 14.59 m.s^{-1} |
| (c) 3.98 m.s^{-1} | (f) 7.96 m.s^{-1} | (i) 11.94 m.s^{-1} | (l) 15.92 m.s^{-1} |

Gambar 6 menunjukkan visualisasi api difusi pada penggunaan *swirl vane* sudu 4 dengan variasi kecepatan bahan bakar. Pada awal kecepatan bahan bakar 1.32 m.s^{-1} , ketinggian api dalam kondisi terendah kemudian seiring dengan penambahan kecepatan bahan bakar ketinggian api mulai bertambah sampai pada kecepatan bahan bakar 7.96 m/s .

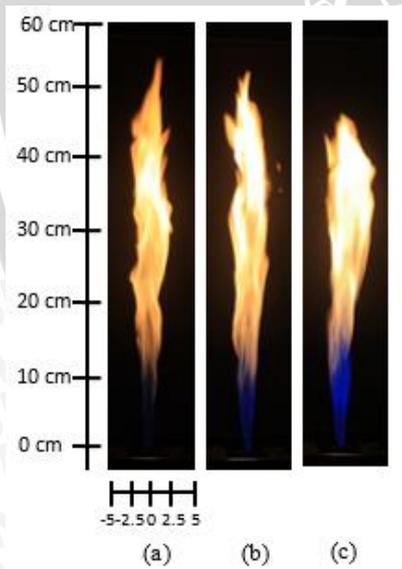
Tinggi api bertambah seiring dengan penambahan kecepatan bahan bakar hal ini disebabkan karena perbandingan massa bahan bakar dan udara semakin mendekati kondisi setimbang, namun pada kecepatan $9,29 \text{ m/s}$ ketinggian api mulai menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan kecepatan

bahan bakar pada luasan yang tetap menyebabkan aliran mengalami turbulensi. Pada aliran turbulensi terdapat banyak olakan ke arah radial yang menyebabkan lebar api semakin bertambah dan ketinggian api menurun. Pada kecepatan bahan bakar 13.26 m/s sampai 15.92 m/s api mulai mengalami *lift off* dimana pangkal api mulai menjauhi mulut *burner*. Hal ini disebabkan karena bahan bakar yang semakin banyak dan cepat tidak sempat bereaksi dengan udara yang baru keluar dari *burner*. Sehingga api mulai bereaksi dengan udara ketika menjauhi mulut *burner*.

Visualisasi Api pada Variasi Kecepatan Udara

Pengambilan data variasi udara diambil dengan 3 macam variasi kecepatan udara yaitu 0.08 m/s, 0.1 m/s dan 0.14 m/s dengan kecepatan bahan bakar yang sama yaitu 9.28 m/s.

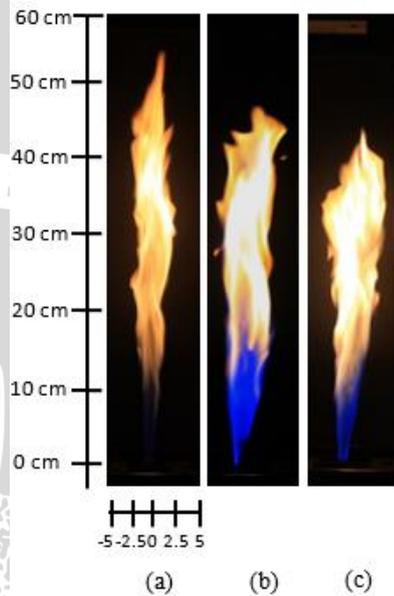
Gambar 7 menunjukkan pengaruh variasi kecepatan udara pada visualisasi api difusi *swirl* sudu 4, dapat dilihat penambahan kecepatan udara menyebabkan tinggi api semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan udara maka bahan bakar yang tercampur dengan udara semakin banyak sebelum bahan bakar terbawa ke atas. Pada kecepatan udara yang lebih rendah terlihat visualisasi api yang lebih tinggi karena bahan bakar belum tercampur dengan udara secara keseluruhan sehingga masih terdapat bahan bakar yang terbawa ke atas karena efek *buoyancy* dimana massa jenis bahan bakar lebih rendah dibandingkan massa jenis udara.



Gambar 7. Visualisasi Api pada Berbagai Variasi Kecepatan Udara dengan Kecepatan Bahan Bakar 9.28 m.s⁻¹ pada Pemasangan *swirl* sudu 4 (a) 0,08 m.s⁻¹ (b) 0,10 m.s⁻¹ (c) 0,14 m.s⁻¹

Visualisasi Api Variasi Jumlah Sudu Swirl Vanes

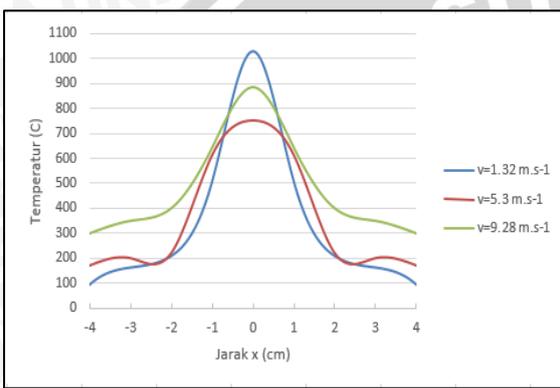
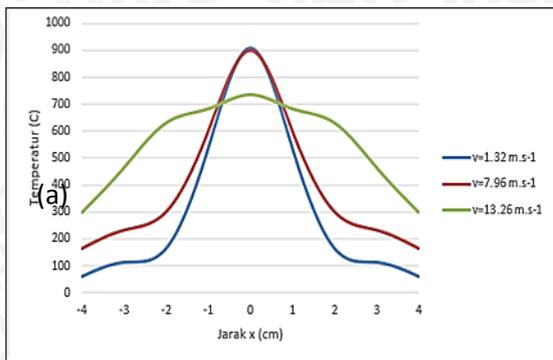
Visualisasi diambil pada kecepatan udara 0.08 m/s dan kecepatan bahan bakar 9.28 m/s yang dijaga tetap. Gambar 8 menunjukkan kecenderungan tinggi api yang semakin rendah seiring dengan penambahan sudu *swirl vanes*.



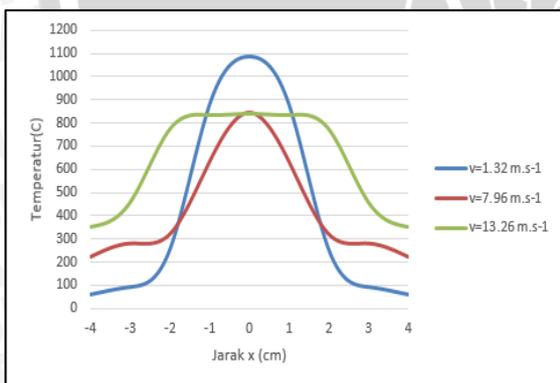
Gambar 8. Visualisasi Api pada Kecepatan Bahan Bakar 9.28 m/s dan Kecepatan Udara 0.08 m/s dengan Variasi *Swirl Vanes* (a) Sudu 4 (b) Sudu 8 (c) Sudu 6

Penurunan tinggi api seiring dengan penambahan sudu disebabkan karena jumlah sudu yang semakin banyak menyebabkan hambatan yang lebih besar pada saluran udara sehingga intensitas turbulensi yang dihasilkan akan semakin besar. Intensitas turbulensi yang semakin besar disebabkan karena arah udara aksial yang dibelokkan oleh sudu *swirl vanes* sehingga aliran udara yang keluar menjadi acak. Selain penurunan tinggi api, juga terdapat pelebaran karena arah dari udara yang telah dibelokkan sudu *swirl vanes*.

Distribusi Temperatur Api Difusi pada Variasi Kecepatan Bahan Bakar dan Variasi Jumlah Sudu Swirl Vanes



(b)

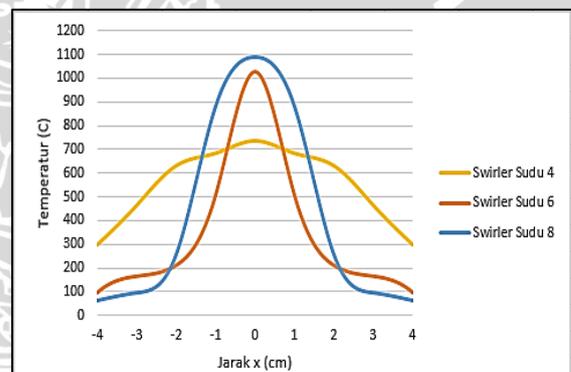


(c)

Gambar 9 Grafik Hubungan Temperatur Rata-rata Sumbu y terhadap Sumbu x Api Difusi dengan Variasi Bahan Bakar dan variasi *swirl vanes* (a) Sudu 4 (b) Sudu 6 dan (c) Sudu 8

Distribusi temperatur api difusi *swirl vane* sudu 4, 6, dan 8 pada variasi kecepatan bahan bakar 1.32 m/s, 7.96 m/s, dan 13.26 m/s dapat ditunjukkan pada Gambar 9. Pada $x=0$ temperatur tertinggi berturut-turut

dimulai dari kecepatan bahan bakar 1.32 m/s, 7.96 m/s, dan 13.26 m/s. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan bahan bakar 1.32 m/s dan 7.96 m/s, pangkal api masih menempel pada mulut *burner*. Sehingga temperatur yang terekam pada *data logger* masih tinggi. Sedangkan pada kecepatan bahan bakar 13.26 m/s seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6, api telah mengalami *lift off* maka pangkal api tidak menempel pada mulut *burner* sehingga pada titik 0 menunjukkan temperatur yang lebih rendah. Namun semakin menjauhi titik 0 temperatur tertinggi berturut turut dari kecepatan bahan bakar 13.2 m/s, 7.96 m/s dan 1.32 m/s, dikarenakan intensitas turbulensi yang semakin tinggi menyebabkan kenaikan temperatur pula karena gerakan atom bahan bakar dan udara yang semakin acak.

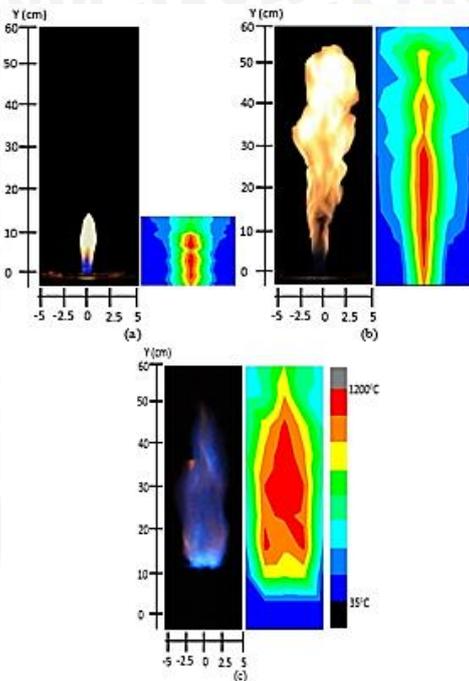


Gambar 10. Grafik hubungan temperatur rata-rata sumbu y terhadap sumbu x api difusi pada variasi *swirl* dengan Kecepatan bahan bakar 1.32 m/s dan kecepatan udara 0.08 m/s.

Sama halnya dengan penambahan kecepatan bahan bakar, semakin banyak jumlah sudu *swirl vanes* menyebabkan intensitas turbulensi yang semakin besar pula. Karena pada aliran turbulensi atom-atom bahan bakar dan udara bergerak semakin acak sehingga temperatur yang dihasilkan semakin tinggi seperti pada Gambar 10. Pada titik 0 *swirl vanes* sudu 6 dan sudu 8 menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan sudu 4 karena

turbulensi yang terjadi menyebabkan adanya resirkulasi pada mulut *burner*.

Pengaruh Variasi Kecepatan Bahan Bakar terhadap Kontur Distribusi Temperatur

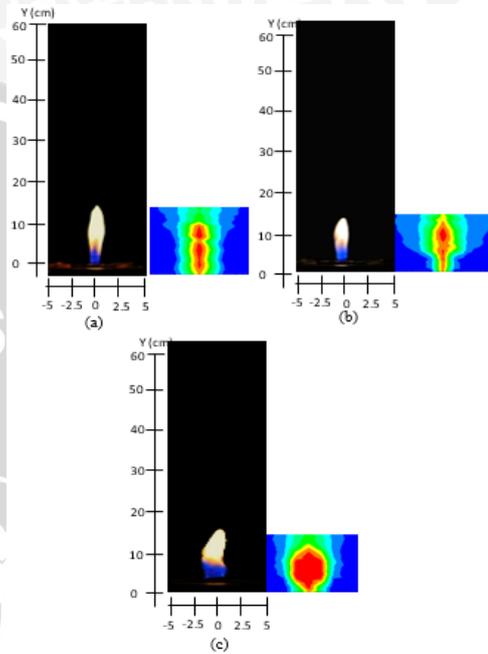


Gambar 11. Kontur Distribusi Temperatur *Swirl* Sudu 4 pada Kecepatan Udara 0,08 m.s⁻¹ dengan Variasi Kecepatan Bahan Bakar (a) 1,32 m.s⁻¹ (b) 7,96 m.s⁻¹ (c) 13,26 m.s⁻¹

Pada pembahasan sebelumnya distribusi temperatur telah ditunjukkan dalam grafik. Untuk memperjelas distirbusi temperatur pada api difusi maka distribusi temperatur divisualisasikan. Pada kontur distribusi temperatur dapat dilihat persebaran temperatur pada api difusi yang ditunjukkan dengan perbedaan warna yang tersebar pada api. Kontur distribusi temperatur pada kecepatan udara tetap dan bahan bakar yang divariasikan pada sudu 4 ditunjukkan pada Gambar 11.

Perbedaan warna pada kontur distribusi temperatur menunjukkan besar temperatur yang berbeda. Warna merah menunjukkan temperatur paling tinggi. Gambar 11 menunjukkan distribusi warna merah semakin banyak seiring dengan penambahan kecepatan bahan bakar.

Gambar 12 menunjukkan distribusi warna merah yang semakin banyak dan merata seiring dengan bertambahnya sudu *swirl vanes*.



Gambar 12. Kontur Distribusi Temperatur pada variasi *swirlers* sudu (a) 4 (b) 6 (c) 8 pada Kecepatan Bahan Bakar 1.32 m/s dan Kecepatan Udara 0.08 m/s

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa penambahan kecepatan bahan bakar menyebabkan intensitas turbulensi yang lebih tinggi, dan turbulensi menyebabkan kenaikan temperatur karena gerakan atom bahan bakar dan udara yang semakin acak.

KESIMPULAN

1. Penambahan kecepatan bahan bakar menyebabkan ketinggian api semakin bertambah kemudian menurun dan *lift off* karena adanya efek turbulensi karena kecepatan bahan bakar yang terus ditambahkan.
2. Semakin besar kecepatan udara maka menyebabkan ketinggian api difusi semakin menurun.



3. Semakin banyak jumlah sudu menyebabkan ketinggian api difusi semakin menurun.
4. Distribusi temperatur paling tinggi terdapat pada kecepatan bahan bakar paling tinggi
5. Distribusi temperatur paling tinggi terdapat pada *swirl vanes* sudu 8.
6. Kontur distribusi paling merata ditunjukkan pada kecepatan bahan bakar paling tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tarigan, P. 2012. Visualisasi Kecepatan Tinggi Nyala Api Dalam Zona Resirkulasi pada Ruang Bakar *Backward-Facing Step*. Depok: Universitas Indonesia
- [2] Glassman, Irvin & Yetter A. Richard. 2008. *Combustion Fourth Edition*. USA: Academic Press.
- [3] Wardana, I.N.G. 2008, Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- [4] Rohmat, Tri Agung, Sahrudin Rahmat, & Saptoadi Harwin. 2010. Pengaruh *Swirl Vanes* pada Aliran Udara Sekunder terhadap Api Difusi yang Terbentuk di Aliran Sembur *Double Concentric*. *Jurnal Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTTM) ke-9* :241-248. Palembang: SNTTM
- [5] Verbeek A., Bouten W.F.M & Stoffles G.M. 2014. *Fractal Turbulence Enhancing Low-Swirl Combustion*. *Combustion and Flame* 162. (1) 129-143
- [6] Khalil, E.E & Gupta. K Ashwani. 2014. *Velocity and Turbulence Effects on High Intensity Distributed Combustion*. *Applied Energy* 125. (1):1-9