

# PENGARUH SWIRL VANES PADA ALIRAN UDARA SEKUNDER TERHADAP API DIFUSI YANG TERBENTUK di ALIRAN SEMBUR *DOUBLE CONCENTRIC*

Tri Agung Rohmat, Rahmat Sahrudin, Harwin Saptoadi

Mechanical and Industrial Engineering Dept.  
Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55262

Phone/FAX: +62-274-521673, E-mail: triagung\_rohmat@ugm.ac.id

## ABSTRACT

*This research was aimed to investigate the effects of axial position and angle of swirl vanes located in the secondary air path on a diffusive flame established in a double concentric jet flow. The combustion chamber was mounted at the end of wind tunnel composed with several PVC pipes. Degree of stability of flames was plotted on a stability diagram at a constant secondary air velocity, while the abscissa and the ordinate are the primary air velocity and the fuel velocity, respectively. The structure of flame was directly visualized using a digital camera with 1/250 sec shutter speed. As the results, it can be observed that locating swirl vanes at the secondary air path provides higher stability of flame than locating at the primary air path. The exception situation is found in a condition where the swirl vanes positioned just at the exit of the secondary air flow. Also, the flames established in this research are short, wide, and brushy.*

*Keywords: swirl vanes, double concentric jet flow, secondary air, stability diagram*

## 1. Latar Belakang

Tujuan utama dari desain burner adalah untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, kestabilan api, tingkat keamanan serta meminimalisasi pembentukan emisi yang dianggap berbahaya terhadap lingkungan seperti carbon monoksida (CO), unburned HC dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).

Burner tipe pembakaran *non-premixed* (difusi) banyak digunakan dalam sistem pembakaran industri, seperti turbin gas, boiler, dan *industrial heater*. Alasan dari penggunaan aliran *non-premixed* ini adalah dari sisi keselamatan. Hal ini dikarenakan pada pembakaran dengan aliran *non-premixed* tidak akan menimbulkan bahaya *flash back* seperti halnya yang terjadi pada pembakaran dengan aliran *premixed*. Namun pembakaran *non-premixed* memiliki suatu kelemahan, yaitu relatif sulitnya untuk memperoleh kondisi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.

Untuk meningkatkan kualitas campuran bahan bakar dan udara, burner industri memanfaatkan aliran *swirl*. Aliran *swirl* ini dapat diperoleh dengan cara melewati udara melalui *swirl vanes* atau dengan memasukkan udara ke dalam burner dengan arah aksial dan tangensial secara bersamaan, atau dengan mengalirkan udara tangensial secara langsung ke ruang pembakaran. Dengan aliran *swirl* maka akan dihasilkan suatu aliran turbulen yang dapat mempercepat proses pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen sehingga dapat meminimalkan pembentukan emisi, serta mengurangi

pembentukan jelaga yang dapat mengurangi efisiensi pembakaran. Selain itu aliran turbulen ini juga meningkatkan transfer kalor yang dihasilkan dalam suatu proses pembakaran.

Berbagai penelitian terhadap aliran *swirl* ini telah cukup banyak dilakukan. Akan tetapi penelitian mengenai pengaruh *swirl vanes* pada aliran *double concentric jet flow* masih sangat sedikit. Oleh karena itu penelitian tentang hal ini penting untuk dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa kestabilan dan visualisasi api difusi pada *double concentric jet flow* dengan menempatkan *swirl* pada saluran udara sekunder. Sebagai parameter adalah posisi aksial dan sudut *swirl vanes*. Hasilnya juga akan dibandingkan dengan hasil yang didapatkan Nurjaman (2003)

## 2. Studi Pustaka

Pengaruh posisi ujung saluran bahan bakar terhadap kestabilan api difusi yang terbentuk di *double concentric jet flow* diteliti oleh Wijayanti (2003). Sebagai hasilnya diketahui bahwa posisi ujung saluran bahan bakar yang lebih dalam mengakibatkan api menjadi lebih mudah *lifted* atau bahkan *blowout*. Sedangkan untuk kondisi sebaliknya maka didapatkan api yang lebih stabil.

Pengaruh penggunaan *swirl vanes* pada pembakaran difusi di aliran *concentric jet flow* telah diteliti oleh Lilley (1977). Dari penelitian ini diketahui bahwa aliran *swirl* meningkatkan intensitas pencampuran antara bahan bakar dan udara. Hal ini terlihat dari pangkal api yang semakin mendekati burner, yang menunjukkan



bahwa campuran mampu bakar sudah terbentuk lebih awal dibandingkan dengan tanpa menggunakan swirl vanes.

Di lain pihak, Nurjaman (2003) menambahkan *swirl vanes* pada saluran udara primer pada aliran seperti yang digunakan oleh Wijayanti (2003). Dengan melakukan variasi terhadap sudut serang, jumlah, dan juga posisi *swirl vanes*, diketahui bahwa dengan penambahan swirl vanes batas kondisi api stabil menjadi lebih lebar. Semakin besar sudut serang yang digunakan dan posisi *swirl* yang semakin dekat dengan ujung burner maka didapatkan api yang lebih stabil, sedangkan jumlah *swirl vanes* hanya mempengaruhi bentuk api saja.

Sujono (2005) dengan simulasi numerik meneliti tentang pengaruh plat penghalang pada kestabilan proses pembakaran dengan bahan bakar cair ( $C_5H_{12}$ ) pada *double concentric jet flow*. Hasilnya menunjukkan bahwa di bagian hilir plat penghalang terjadi aliran resirkulasi. Karakteristik aliran resirkulasi ini dipengaruhi oleh dimensi plat penghalang, dimana semakin besar diameternya maka semakin besar pula ukuran dan intensitas aliran resirkulasi ini. Aliran resirkulasi mentransfer panas ke arah burner sehingga droplets bahan bakar lebih mudah menguap untuk kemudian lebih mudah bercampur dengan udara.

Prinsip dasar di dalam menjaga kestabilan proses pembakaran ada tiga yaitu dengan cara menyediakan daerah dengan temperatur tinggi, daerah berkecepatan rendah, dan/atau daerah dengan intensitas pencampuran yang tinggi antara bahan bakar dan udara.

Daerah bertemperatur tinggi dapat dibentuk dengan menggunakan *pilot flame* (Mizutani, 1989). Hal ini akan menjamin kelangsungan reaksi kimia antara bahan bakar dan udara yang sangat dipengaruhi oleh temperatur reaktan. Daerah berkecepatan rendah didapatkan dengan menggunakan *backward facing step*, *bluff body*, atau *wall recess* (Tsuji, 1962; Rohmat, 1998) untuk memberi kesempatan bercampurnya bahan bakar dan udara.

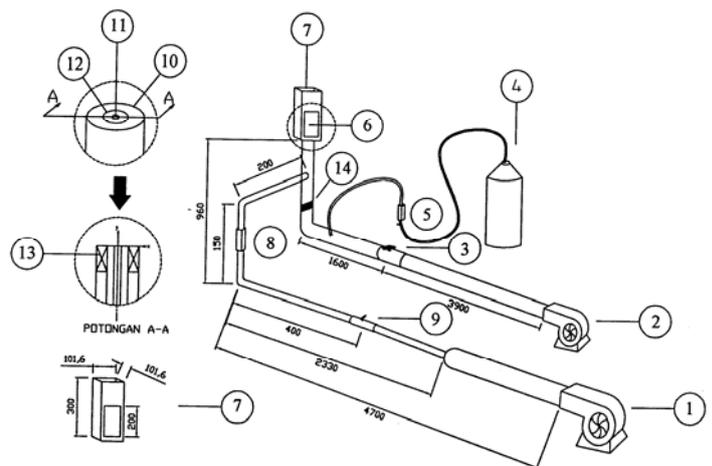
Penggunaan *swirl vanes* merupakan salah cara untuk meningkatkan intensitas campuran bahan bakar dan udara. Dengan adanya gerakan spiral udara maka bahan bakar tertarik ke arah radial sehingga dapat bercampur dengan udara dengan baik (Lilley, 1977). Selain peningkatan kualitas campuran, penggunaan *swirl vanes* juga dapat meningkatkan kestabilan melalui pembentukan daerah resirkulasi. Aliran resirkulasi mengangkut gas panas hasil pembakaran mendekati ujung burner sehingga meningkatkan kecepatan reaksi kimia. Oleh karena itulah maka *swirl vanes* merupakan stabilisator api yang paling banyak dipakai oleh burner-burner industri.

Untuk menunjukkan pengaruh aliran swirl secara kuantitatif Cheng, R.K, et al (2000) mendefinisikan *swirl number* (S), yaitu bilangan tak berdimensi yang merepresentasikan perbandingan antara laju momentum angular (*angular flow momentum*) dengan laju

momentum aksial (*axial flow momentum*). Dengan meningkatkan harga S sampai lebih dari 0,6, maka akan timbul gradien tekanan radial dan aksial yang relatif cukup besar pada *exit nozzle* dari burner sehingga menghasilkan resirkulasi aksial internal yang dikenal dengan zona resirkulasi.

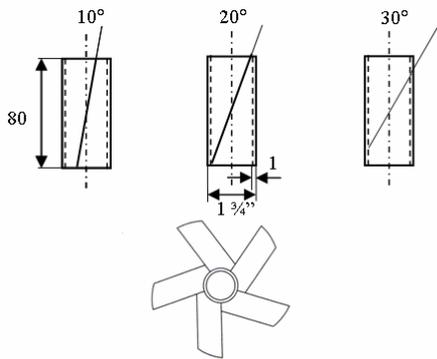
### 3. Alat dan Metode Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari ruang bakar (*combustion chamber*), terowongan angin yang terdiri dari sambungan beberapa pipa PVC, dan blower. Burner dengan jenis *double concentric jet flow* yang terdiri dari pipa bahan bakar, pipa udara primer dan pipa udara sekunder diletakkan pada bagian masuk ruang bakar. Pipa bahan bakar terbuat dari tembaga dengan ukuran diameter dalam 4mm dan diameter luar 5mm. Pipa udara primer terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 1 inch. Pipa udara sekunder terbuat dari besi dengan diameter 4 inch. Sedangkan ruang bakar adalah chamber dengan ukuran 30 x 10,16 x 10,16 cm<sup>3</sup> yang dilengkapi kaca pengamatan dengan ukuran 20 x 10 cm<sup>2</sup>. Skema susunan dari alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Keterangan:** (1) Blower I suplai udara primer, (2) Blower II suplai udara sekunder, (3) Katup pengatur udara sekunder, (4) Tabung LPG, (5) Rotameter bahan bakar, (6) Lubang pengamatan, (7) Ruang bakar, (8) Rotameter udara primer, (9) Katup pengatur udara primer, (10) Saluran udara sekunder, (11) Saluran bahan bakar, (12) Saluran udara primer, (13) Swirler, (14) Honeycomb





Gambar 1 Skema Susunan Alat Penelitian

Gambar 2 Bentuk geometri swirler

Laju volume aliran udara primer dan bahan bakar diukur dengan rotameter yang kemudian dikonversikan menjadi kecepatan. Sedangkan kecepatan aliran udara sekunder diukur dengan menggunakan anemometer yang dikalibrasi dengan *pitot tube*. *Swirl vanes* ditempatkan di saluran udara sekunder untuk mendapatkan aliran swirl. *Swirl vanes* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Udara primer disuplai oleh Blower I (No.1), melewati katup (No.9) dan rotameter (No.8) dan selanjutnya mengalir menuju chamber (No.7). Besarnya aliran udara primer ditetapkan dengan memutar stop kran. Udara sekunder disuplai oleh Blower II (No.2), melewati stop kran (No.3), dan selanjutnya mengalir menuju chamber (No.7). Besarnya aliran udara sekunder ditetapkan dengan memutar stop kran. Sedangkan bahan bakar berupa LPG (*liquified petroleum gas*) yang berasal dari tabung gas (No.4) mengalir menuju rotameter bahan bakar (No.5) dan selanjutnya mengalir menuju ruang bakar.

Prosedur pengambilan data untuk mendapatkan tingkat kestabilan api dilakukan pada suatu kecepatan udara sekunder tertentu. Mula-mula kecepatan udara primer diset pada suatu nilai tertentu, kemudian bahan bakar mulai dialirkan dan dinyalakan dengan menggunakan pemantik. Setelah api menyala, kecepatan bahan bakar dinaikkan sedikit demi sedikit sehingga didapatkan pangkal api mulai menjauh ujung burner (kondisi ini selanjutnya disebut api *liftoff*). Pada kondisi ini kecepatan bahan bakar adalah batas antara api stabil dan api *liftoff* dan diplot pada sebuah diagram kestabilan. Diagram kestabilan adalah diagram dua dimensi dengan absis yang berupa kecepatan udara primer dan ordinat yang berupa kecepatan bahan bakar. Dari kondisi api *liftoff* kecepatan bahan bakar dinaikkan lagi sehingga didapatkan api *blowout*. Pada kondisi seperti ini kecepatan bahan bakar adalah batas antara api *liftoff* dan api *blowout* dan juga diplot pada diagram kestabilan.

Dari sini akan terbentuk luasan api stabil, api *liftoff*, dan api *blowout*.

Visualisasi api menggunakan digital still camera NIKON D70 dengan shutter speed 1/250 s dan bukaan diaphragma sebesar 2,8. Api yang divisualisasikan semuanya adalah api yang stabil, di mana setiap pengambilan gambarnya dilakukan 4 sampai 5 kali. Hasil yang ditampilkan dipilih yang dapat mewakili fenomena yang sebenarnya.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Perbedaan Posisi Aksial *Swirl Vanes*

#### Diagram Kestabilan

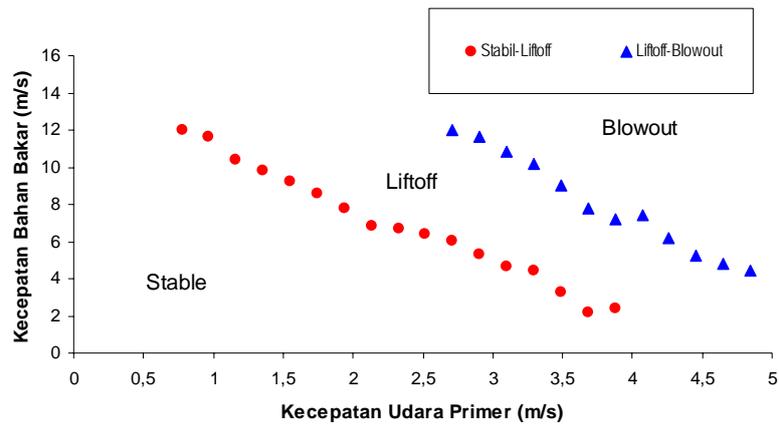
Untuk mengetahui pengaruh posisi aksial digunakan *swirl vanes* dengan jumlah sudu 5, sudut 10°, dan kecepatan udara konstan 5,4 m/s yang diletakkan pada posisi -5 cm, -2,5 cm, dan 0 cm dari ujung burner ke arah hulu. Diagram kestabilan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3. Di sini tanda solid ● dan ▲ masing-masing menunjukkan batas stabil-*liftoff* dan batas *liftoff-blow out*.

Gambar 3 (a) menunjukkan diagram kestabilan untuk posisi -5 cm. Dari gambar ini dapat diketahui batas api stabil-*liftoff* dan batas api *liftoff-blowout* kedua-duanya miring ke arah kanan bawah. Hal ini berarti semakin tinggi kecepatan udara primer maka batas kecepatan bahan bakar semakin turun, atau dengan kata lain api semakin tidak stabil. Batas api stabil-*liftoff* mempunyai gradien yang lebih landai dibandingkan dengan batas *liftoff-blowout*, sehingga dapat diamati luasan daerah api *liftoff* semakin sempit pada kecepatan udara primer yang tinggi. Pada kecepatan udara primer lebih besar dari sekitar 4 m/s batas api stabil-*liftoff* tidak teramati dengan baik. Hal ini karena pangkal api mempunyai kecenderungan untuk memisahkan diri dari ujung burner.

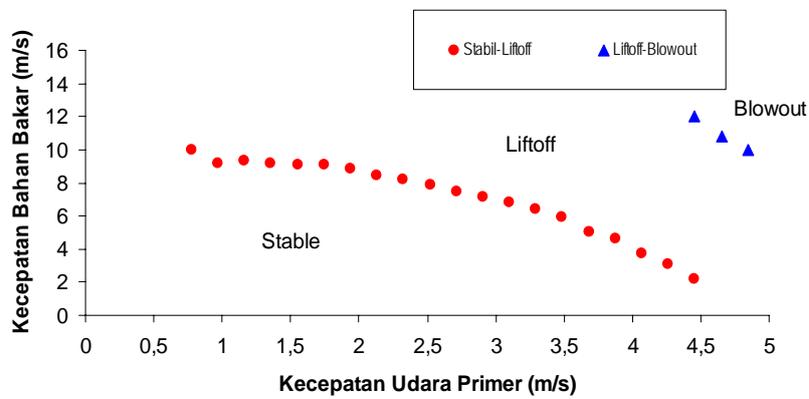
Pada posisi *swirl vanes* tepat diujung burner Gambar 3(b), batas api stabil-*liftoff* tidak banyak berubah. Di lain pihak batas api *liftoff-blowout* bergeser ke kanan atas. Karena keterbatasan alat ukur maka batas api *liftoff-blowout* hanya teramati pada kecepatan udara primer tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa api lebih susah untuk menjadi *blowout* dari kondisi *liftoff* pada kondisi posisi *swirl vanes* tepat ada di *burner exit*.

Membandingkan hasil penelitian sekarang dengan hasil yang didapatkan Nurjaman (2003) dapat dilihat bahwa penempatan *swirl vanes* pada saluran udara sekunder mempunyai pengaruh yang besar untuk menggeser batas api stabil-*liftoff* dan batas api *liftoff-blowout* ke arah kanan atas. Dengan kata lain penempatan *swirl vanes* pada saluran udara sekunder menghasilkan api yang lebih stabil dan juga api yang tidak mudah padam. Walaupun pada kecepatan udara primer yang tinggi, batas api stabil-*liftoff* lebih rendah dibandingkan dengan kasus *swirl vanes* pada saluran udara primer.



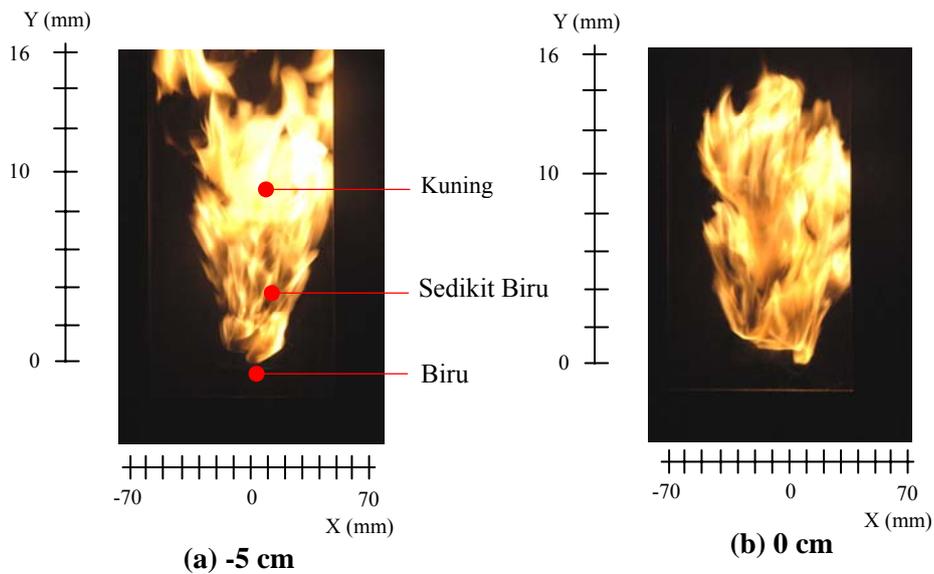


(a) Posisi -5 cm



(b) Posisi 0 cm

**Gambar 3 Pengaruh Posisi Aksial Swirler  
(Sudu 5, Sudut 10°, Kec. Udara Sekunder 5,4 m/s)**



**Gambar 4. Visualisasi Api Stabil  
( $U_s = 55,4$  m/s.  $U_p = 1,8$  m/s.  $V_f = 4,4$  m/s, Sudu 5, Sudut 10°)**



### Visualisasi Api

Pengaruh perbedaan posisi radial *swirl vanes* terhadap bentuk dan geometri api dapat dilihat pada Gambar 4. Di sini sebagai kondisi eksperimen diambil kecepatan udara sekunder 5,4 m/s, kecepatan udara primer 1,8 m/s, dan kecepatan bahan bakar 4,4 m/s, jumlah sudu 5, dan sudut sudu 10°. Posisi aksial divariasikan -5 dan 0 cm.

Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa api terlihat *brushy* dan gemuk. Secara keseluruhan warna api kuning kemerah-merahan yang terlihat relatif jernih dengan warna biru di pangkal api. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan kondisi campuran yang baik. Panjang api dengan *swirl vanes* pada posisi -5 cm adalah kurang lebih 160 mm dan terlihat lebih panjang dibandingkan kasus *swirl* pada posisi 0 cm. Di lain pihak bentuk api pada posisi 0 cm menunjukkan bentuk yang lebih *brushy*, gemuk, dan cenderung membulat. Apabila dibandingkan dengan kasus *swirl* pada saluran udara primer (Nurjaman, 2003), bentuk dan geometri api ini terlihat relatif lebih lebar. Juga dapat diamati bahwa penempatan *swirl* pada saluran udara sekunder membuat api yang terbentuk lebih *brushy* dengan memiliki pola pilinan yang lebih banyak.

### **Pengaruh Sudut Swirl Vanes**

#### Diagram Kestabilan

Untuk mengetahui pengaruh besar sudut digunakan *swirl vanes* dengan jumlah sudu 5, posisi aksial -5 cm, dan kecepatan udara sekunder konstan 5,4 m/s. Sudut *swirl vanes* divariasikan dengan sudut 10° dan 30°. Diagram kestabilan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5. Keterangan tanda yang digunakan dalam diagram sama dengan yang sebelumnya.

Dibandingkan dengan sudut 10° (Gambar 5 (a)), penggunaan *swirl vanes* dengan sudut 30° (b) membuat posisi batas api stabil-*liftoff* sedikit lebih ke kanan atas, atau dengan kata lain luasan api stabil menjadi lebih lebar. Hal ini terlihat lebih jelas pada kecepatan udara primer yang besar. Kemiringan batas api stabil-*liftoff* semakin landai dengan kenaikan sudut *swirl vanes*. Di lain pihak batas api *liftoff-blowout* menjadi tidak teramati (di luar jangkauan kemampuan alat ukur). Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar sudut *swirl vanes* proses pencampuran antara bahan bakar dan udara berlangsung dengan sangat baik.

### Visualisasi

Pengaruh perbedaan sudut *swirl vanes* terhadap bentuk dan geometri api dapat dilihat pada Gambar 6. Di sini sebagai kondisi eksperimen diambil kecepatan udara sekunder 5,4 m/s, kecepatan udara primer 1,8 m/s, dan kecepatan bahan bakar 4,4 m/s, posisi aksial *swirl* -5 cm, dan jumlah sudu 5. Sudut *swirl* divariasikan 10° dan 30°.

Dari Gambar 6 (a) dapat diamati bahwa api terlihat

*brushy* dan gemuk. Secara keseluruhan warna api kuning kemerah-merahan yang terlihat jernih dengan warna biru di pangkal api. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan kondisi campuran yang baik. Lebar api dengan sudut *swirl* 10° adalah kurang lebih 90 mm, sedangkan kasus dengan sudut *swirl* 30° menunjukkan api yang lebih lebar yaitu sekitar 100 mm. Sebagai konsekuensinya bentuk api dengan sudut 30° menunjukkan bentuk yang lebih *brushy*, pendek, dan cenderung membulat. Apabila dibandingkan dengan hasil Nurjaman (2003), bentuk dan geometri api ini terlihat relatif lebih lebar dan lebih pendek. Juga dapat diamati bahwa penempatan *swirl vanes* pada saluran udara sekunder menghasilkan aliran dengan intensitas turbulensi yang lebih kuat sehingga didapatkan api yang lebih *brushy*.

## **PEMBAHASAN**

### Pengaruh posisi aksial swirl vanes

Pada penempatan di saluran udara sekunder, posisi *swirl vanes* yang relatif berada cukup dalam di saluran udara sekunder (-5 cm) menghasilkan aliran *swirl* dengan radius yang relatif sempit. Hal ini karena udara keluar dari *swirl vanes* mengikuti bentuk pipa saluran udara sekunder sehingga aliran udara ketika keluar ke ruang bakar tetap terjaga radius aliran *swirl*. Sebaliknya posisi *swirl vanes* tepat di ujung saluran udara sekunder (0 cm) menghasilkan aliran *swirl* dengan radius yang lebih lebar karena ketika keluar ke ruang bakar aliran *swirl* harus berekspansi di dalam ruang bakar. Akibatnya pada posisi *swirl vanes* -5 cm, aliran *swirl* dari udara sekunder masih mempunyai komponen kecepatan aksial yang cukup besar sehingga mengganggu kondisi campuran bahan bakar dan udara di ujung burner. Di lain pihak aliran *swirl* dengan radius aliran yang lebih lebar (*swirl number* lebih besar) relatif dapat mengangkut bahan bakar ke arah radial dengan lebih banyak. Fenomena ini menghasilkan tingkat kestabilan api yang lebih baik dibandingkan dengan posisi -5 cm.

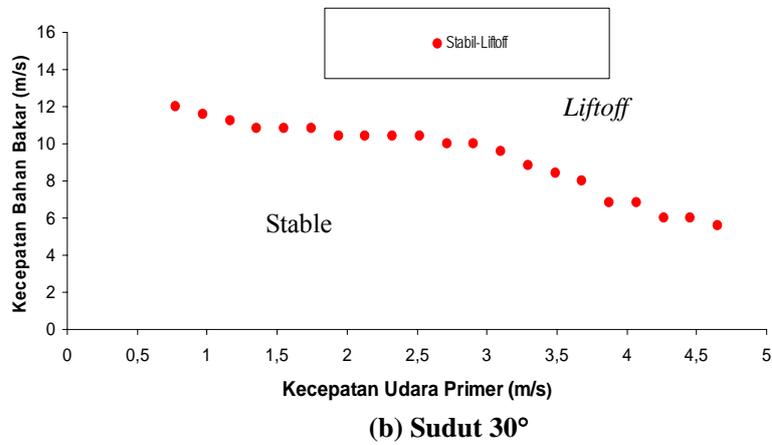
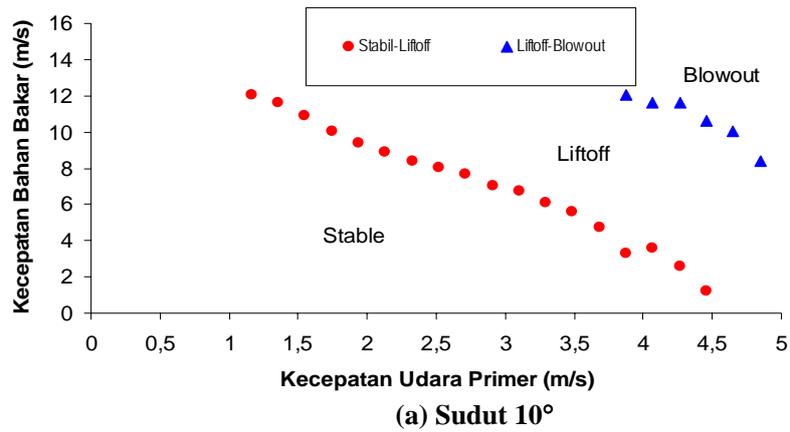
### Pengaruh sudut swirl vanes

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa aliran *swirl* memberikan efek yang cukup besar terhadap kestabilan api. Besarnya efek yang ditimbulkan juga bergantung pada intensitas *swirl* yang sebanding dengan nilai tangen dari sudut sudu *swirl vanes* (Cheng, et al., 2000). Penjelasan mekanisme kestabilan api karena pengaruh sudut *swirl vanes* sama dengan yang disebutkan di atas.

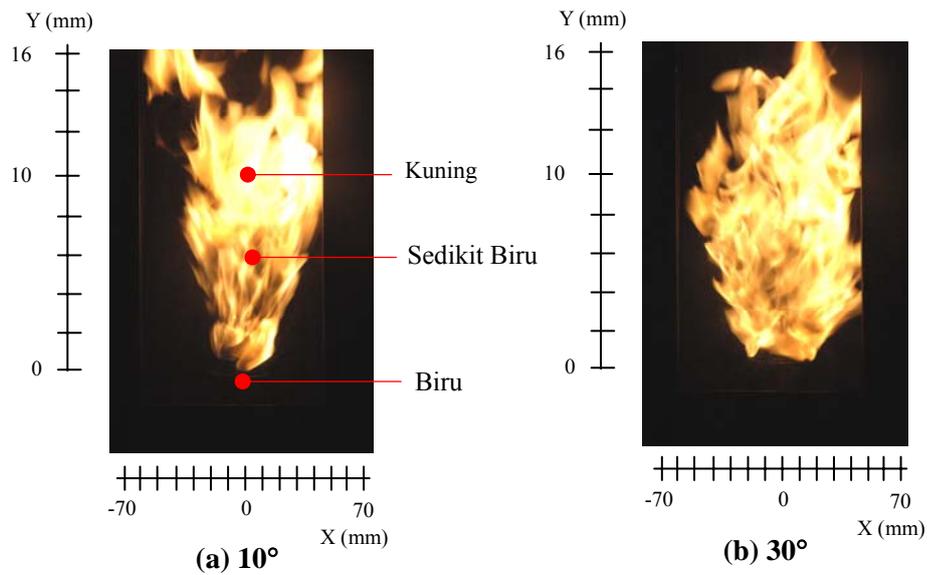
### Pengaruh posisi radial swirl vanes

Dari bagian sebelumnya dapat diketahui bahwa penempatan *swirl vanes* pada saluran udara sekunder dibanding pada aliran udara primer secara umum menghasilkan luasan api stabil yang lebih lebar dan menggeser batas api *liftoff-blowout* ke arah kanan atas. Hal ini dapat difahami karena zona resirkulasi yang





**Gambar 5 Pengaruh Sudut Swirler**  
(Sudu 5, Posisi Aksial -5 cm, Kec. Udara Sekunder 5,4 m/s)



**Gambar 6. Visualisasi Api Stabil**  
( $U_s = 55,4$  m/s.  $U_p = 1,8$  m/s.  $V_f = 4,4$  m/s, Sudu 5, Posisi -5 cm)



dihasilkan di sekitar ujung burner lebih besar sehingga dapat menyediakan campuran bahan bakar dan udara mampu bakar (*flammable mixture*) di sekitar ujung burner yang relatif baik untuk proses pembakaran.

Penjelasan mengapa pada kecepatan udara primer tinggi tingkat kestabilan pada kasus *swirl vanes* di saluran udara sekunder lebih rendah dibanding dengan kasus *swirl vanes* di saluran udara primer adalah karena pada kasus pertama proses pencampuran antara bahan bakar dan udara primer kurang bisa berlangsung dengan baik. Hal ini dapat dipahami dari pengaruh aliran swirl yang dibangkitkan dari *swirl vanes* pada saluran udara sekunder terhadap pencampuran bahan bakar dan udara terhalangi oleh kelembaman aliran udara primer yang mengalir secara aksial.

## 5. Kesimpulan

1. Pengaruh posisi aksial *swirl vanes* pada aliran udara sekunder tidak terlalu signifikan terhadap luasan api stabil. Di sisi lain, penempatan *swirl vanes* semakin ke dalam membuat api menjadi lebih mudah *blowout*.
2. Besar sudut *swirl vanes* mempengaruhi luasan api stabil, di mana sudut semakin besar meningkatkan tingkat kestabilan api.
3. Aliran swirl yang diakibatkan *swirl vanes* pada aliran udara sekunder untuk semua variasi memberikan kestabilan api yang relatif lebih baik dibandingkan *swirl vanes* pada aliran udara primer, kecuali pada posisi aksial *swirl vanes* tepat di ujung burner.

## Daftar Pustaka

Cheng, R.K. *et al.*, Scaling and Development of Low-Swirl Burners for Low-Emission Furnaces and Boilers, Proc. Comb. Inst., 2000.

Lilley, G.D., Swirl Flow in Combustion: A Review, AIAA Journal, Vol.15, No.8.

Mizutani, K., 1988, Combustion Engineering (in Japanese), 2nd Ed., Morikita Publisher, Tokyo

Nurjaman, F., 2003, Pengaruh Geometri *Swirler* Terhadap Struktur dan Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet Flow*, Tesis S1, UGM

Rohmat, T.A., Diffusion Flame Stabilized on a Porous Plate in A Parallel Air Stream, AIAA Journal, Vol.36., No.11.

Sujono, 2005, Simulasi Numerik Pengaruh Plat Penghalang Terhadap Karakteristik Pembakaran Bahan Bakar Cair Pada Aliran Sembur *Double Concentric*, Tesis S2, UGM

Tsuji, H. and Okano, T., 1962, Flame Stabilization by a Bluff-body Flame Holder with Gas Ejection, Aerospace Research Intitute, Univ. of Tokyo, Report 369

Wijayanti, W., 2003, Kestabilan Api Difusi *Double Concentric Jet Flow* (Pengaruh Posisi Central Fuel Tube), Teknosains, Jilid 16, No. 2.



