PENGARUH *OBSTACLE DISC* TERHADAP API DIFUSI YANG TERBENTUK DI ALIRAN SEMBUR *CONCENTRIC*

Tri Agung Rohmat, Hadi Saputra

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 diameter and axial location of an obstacle disc mounted at the end of fuel pipe on a diffusion flame established in a concentric jet flow. A combustion chamber was mounted at the end of wind tunnel composed with several PVC pipes. Degree of stability of flame was plotted on a stability diagram, while the absys and the ordinat are the air flow rate and the fuel flow rate, 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 the obstacle discs with several diameters provide good stabilization effects. Increasing the diameter of the disc enhances the stability of flames. Furthermore it provides more complete combustion and expands the flames radially. In the other hand, locating the obstacle disc far from the tip of air path reduces the stability of flames and causes the flames broader.

Keywords:diffusion flame, concentric jet flow, obstacle disc, stability diagram

1. Latar Belakang

Dalam metode pembakaran dikenal ada dua sistem pembakaran, yaitu sistem pembakaran *premixed* dan *nonpremixed* (difusi). Burner tipe difusi banyak digunakan dalam sistem pembakaran industri, seperti turbin gas, boiler dan furnaces. Alasan penggunaan pembakaran difusi adalah dari sisi keamanan, karena tidak ada bahaya *flash back*. *Flash back* adalah fenomena menjalarnya api ke sumber bahan bakar. Di lain pihak, pembakaran difusi memiliki beberapa kelemahan, yaitu sulitnya mendapatkan komposisi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara. Selain itu pada pembakaran ini lebih banyak dihasilkan jelaga (*soot*).

Salah satu contoh usaha penanggulangan permasalahan di atas adalah dengan menggunakan *obstacle* berupa *disc* dengan ketebalan dan diameter tertentu yang ditempatkan pada ujung pipa bahan bakar. Dengan penggunaan *obstacle* ini diharapkan terjadi zona resirkulasi pada api dekat ujung burner. Pembentukan zona resirkulasi merupakan mekanisme stabilitas api yang memberikan suatu daerah, dimana laju reaksi kimia dapat mengimbangi laju aliran, dan juga terjadi suatu pergerakan dari produk pembakaran (*flue gas*) dengan suhu tinggi ke arah ujung burner sehingga terbentuk sumber penyalaan (*ignition source*) untuk menstabilkan pembakaran. Dengan adanya zona resirkulasi ini maka stabilitas api menjadi semakin baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh diameter dan posisi aksial *obstacle disc* terhadap kestabilan dan struktur api difusi pada *concentric jet flow*. Secara konkrit akan dilakukan pengamatan pada dinamika api dan hasilnya diplot dalam diagram kestabilan, dan dilakukan visualisasi dengan metode *direct photograph*.

2. Studi Pustaka

Berbagai penelitian terhadap api difusi turbulen telah dilakukan. Penelitian dilakukan dengan memodifikasi burner untuk memperoleh karakteristik api dari aliran yang berbeda dan mengamati pengaruhnya terhadap kestabilan api dan efisiensi pembakaran.

Cha (1996) mengadakan penelitian tentang karakteristik *liftoff* api *non-premixed d*engan menggunakan *obstacle* berdiameter 36 cm, pipa bahan bakar dengan panjang 70 cm dan diameter pipa yang bervariasi (0,84; 1,62mm; 2,10; dan 2,58 mm). Jarak *obstacle* divariasikan dari 0 hingga 50 cm terhadap ujung nozzle. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati tinggi *lift off* api tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika obstacle ditempatkan pada posisi jauh dari ujung nozzle, tinggi *liftoff* tidak mengalami banyak perubahan,

ISBN : 978-602-97742-0-7

sebaliknya ketika diletakkan mendekati ujung nozzle, terjadi peningkatan tinggi *liftoff* api.

Esquiva-Dano *et al*. (2001) melakukan penelitian mengenai pengaruh *bluff-body* terhadap kestabilan api *non-premixed*. Ada dua macam bentuk *bluff-body* yang digunakan, yaitu bentuk cakram dan bentuk tulip. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa bentuk tulip memberikan luasan kestabilan lebih besar dibanding bentuk cakram.

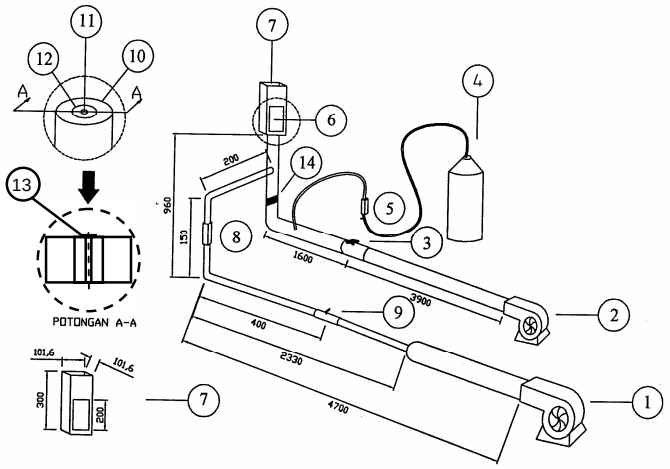
Wijayanti (2003), melakukan penelitian api difusi pada *double concentric jet flow* dengan melihat pengaruh posisi ujung central *fuel tube*. Dengan memvariasikan kecepatan bahan bakar dari 1~12 m/s, kecepatan udara primer 0,7~3,2 m/s dan kecepatan udara sekunder 2,3~4 m/s. Penelitian dilakukan adalah dengan observasi langsung terhadap dinamika pangkal api untuk mengetahui karakteristik *liftoff* dan *blowout*. Dari penelitian ini diketahui daerah kestabilan terbesar terbesar terjadi pada saat letak ujung central *fuel tube* berada di lebih hilir ujung *fuel tube* dan daerah kestabilan api terkecil terjadi pada saat letak ujung *fuel tube* berada di bawah ujung concentric annulus tube.

Nurjaman (2003), juga melakukan penelitian mengenai kestabilan api difusi pada *double concentric jet flow* tetapi dengan memasang *swirl vanes* pada aliran udara primer. Sebagai parameter adalah posisi aksial, besar sudut, dan jumlah sirip *swirl vanes*. Dari penelitian ini diperoleh bahwa dengan menggunakan *swirl vanes* kestabilan api jauh lebih tinggi dibandingkan tanpa *swirl vanes*.

3. Alat dan Metode Penelitian

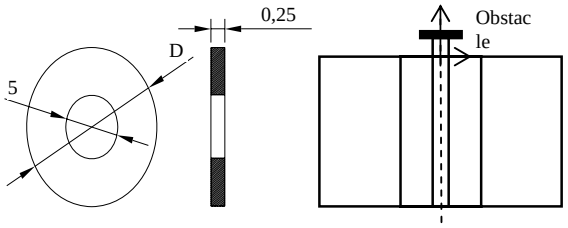
Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari ruang bakar (*combustion chamber*), terowongan angin yang terdiri dari sambungan beberapa pipa PVC, dan blower. Burner dengan jenis *double concentric jet flow* yang terdiri dari pipa bahan bakar, pipa udara primer dan pipa udara sekunder diletakkan pada bagian masuk ruang bakar.. Pipa bahan bakar terbuat dari tembaga dangan ukuran diameter dalam 4 mm dan diameter luar 5 mm. 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^3 yang dilengkapi kaca pengamatan dengan ukuran 20 x 10 cm^2. Skema susunan dari alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. *Obstacle disc* ditempatkan di ujung *fuel pipe*. Debit udara dan bahan bakar diukur dengan rotameter.

Udara disuplai oleh Blower I (No.1), melewati katup (No.9) dan rotameter (No.8) dan selanjutnya mengalir menuju chamber (No.7). Besarnya aliran udara ditetapkan dengan memutar stop kran. Sedangkan bahan bakar berupa LPG (Liquified Petroleum Gas) yang berasal dari tabung gas (No.4) mengalir menuju



Keterangan: (1) Blower I suplai udara primer, (2) Blower II suplai udara sekunder (tidak digunaka), (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 (ditutup), (11) Saluran bahan bakar, (12) Saluran udara primer, (13) *Obstacle disc*, (14) Honeycomb

Gambar 1 Skema Susunan Alat Penelitian



(a) Bentuk Geometri (b) Posisi

Gambar 2 *Obstacle Disc*

bakar dinaikkan sedikit demi sedikit sehingga didapatkan pangkal api mulai meninggalkan ujung burner (*liftoff*). Pada kondisi seperti 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 kecapatan 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

ISBN : 978-602-97742-0-7

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. Lebar api diukur pada posisi 100 mm dari ujung burner. Hasil yang ditampilkan dipilih yang dapat mewakili fenomena yang sebenarnya.

4. Hasil dan Pembahasan

Diagram kestabilan dapat digunakan sebagai media untuk mengetahui stabilitas api dalam sebuah proses pembakaran. Pada seluruh kasus ternyata tidak didapati kondisi api *blowout*. Diagram ini hanya terbagi menjadi dua daerah, yaitu daerah stabil (di bawah garis *liftoff*) dan daerah *liftoff* (tepat pada garis liftoff dan diatas garis liftoff). Kestabilan api dievaluasi dengan melihat luasnya daerah stabil pada diagram kestabilan. Makin luas daerah stabil, maka kestabilan semakin bagus, demikian pula sebaliknya.

Pengaruh Diameter *Obstacle Disc*

Diagram Kestabilan

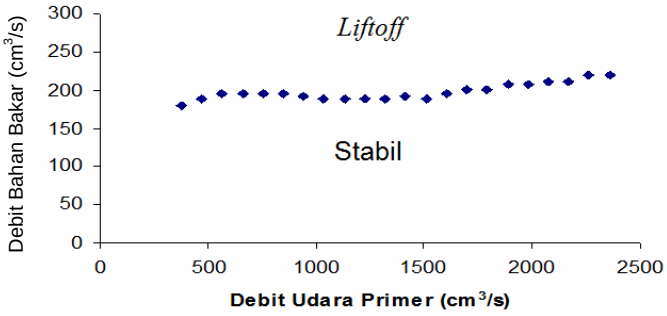
Untuk mengetahui pengaruh diameter obstacle terhadap kestabilan api, maka diameter *obstacle disc* divariasikan 11, 15, dan 19 mm. Semua *obstacle* ini ditempatkan pada ujung pipa udara primer. Pengamatan liftoff ini dilakukan mulai pada debit udara primer 377 cm^3/s.

Gambar 3 (a)~(c) masing-masing menunjukkan diagram kestabilan untuk diameter *obstacle* 11, 15, dan 19 mm. Dari semua gambar dapat diketahui batas api stabil-*liftoff* secara umum cenderung miring ke arah kanan atas. Hal ini berarti semakin tinggi debit udara maka batas debit bahan bakar semakin bertambah, atau dengan kata lain api semakin stabil. Pada diameter *obstacle* 15mm dapat diamati batas stabil-*liftoff* menurun pada Q_p= ±1014 cm^3/s. Semakin besar ukuran diameter *obstacle* fenomena *liftoff* semakin jarang dijumpai, atau dengan kata lain kondisi api stabil lebih mudah didapatkan. Akan tetapi, pengamatan kondisi api stabil yang didapat pada diameter *obstacle* besar dan debit udara yang tinggi menunjukkan bentuk pangkal api menjadi lebih tidak beraturan.

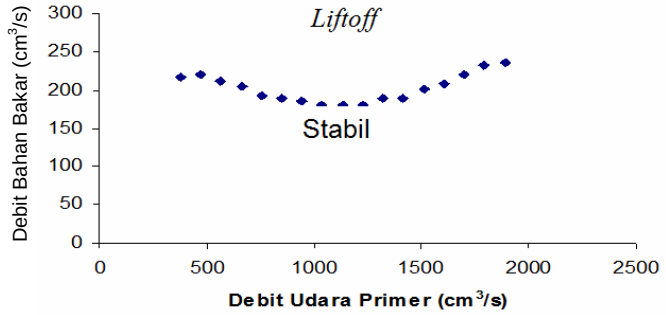
Visualisasi

Untuk mengetahui pengaruh besarnya diameter obstacle terhadap bentuk dan geometri api stabil, diambil kondisi debit udara 2358 cm3/s dan debit bahan bakar 62,88 cm3/s, sedangkan diameter obstacle disc divariasikan 13, 15, dan 17 mm.

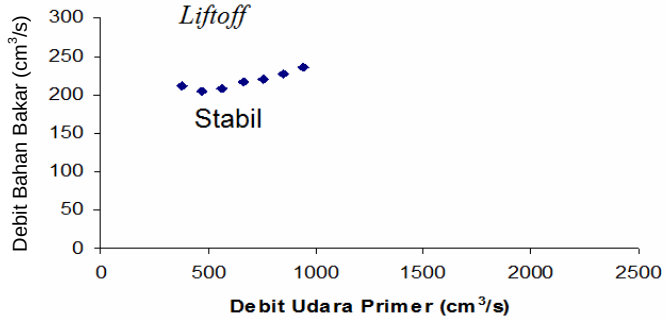
Secara umum dapat dilihat bahwa hampir seluruh bagian api berwarna kuning yang hal ini menunjukkan produksi *soot*/jelaga. Produksi jelaga ini merupakan karakteristik khas dari pembakaran difusi. Pada Gambar (a), api terlihat memiliki lebar ±56 mm, warna biru



(a) Obstacle 11 mm



(b) Obstacle 15 mm



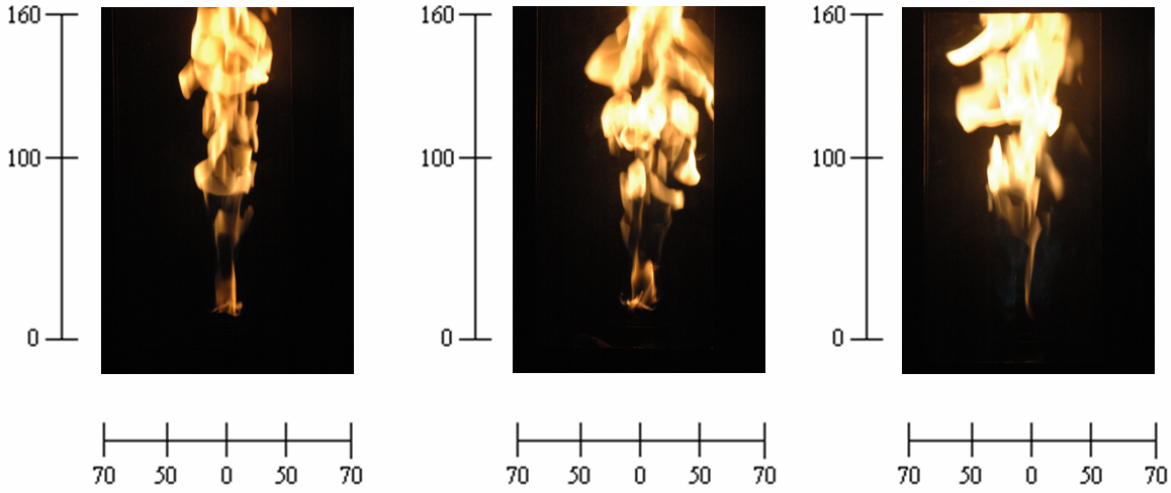
(c) Obstacle 19 mm

Gambar 3 Diagram Kestabilan (Pengaruh Diameter *Obstacle Disc*)

terdapat pada pangkal api, api terlihat *brushy* pada bagian hilirnya. Sedangkan Gambar (b) menunjukkan lebar api yang lebih besar (±67 mm), pangkal api memiliki lebar yang kurang lebih sama dengan diameter obstacle yaitu 15mm, cincin pada pangkal api lebih *brushy*, warna biru dari api terlihat lebih menyebar dibandingkan dengan Gambar (a). Bentuk pilinan api terbentuk lebih jelas. Pada Gambar (c) dapat diamati

ISBN : 978-602-97742-0-7

bahwa lebar api meningkat sampai ±74 mm, api biru mendominasi pangkal api. Ukuran pangkal api yang juga sepadan dengan diameter *obtacle* menunjukkan bahwa bahan bakar berdifusi sampai pinggiran *obstacle disc*.



(a) *Obstacle* 13 mm
Q_p = 2358 cm^3/s
Q_f = 62,88 cm^3/s

(b) *Obstacle* 15 mm
Q_p = 2358 cm^3/s
Q_f = 62,88 cm^3/s

(c) *Obstacle* 17 mm
Q_p = 2358 cm^3/s
Q_f = 62,88 cm^3/s

Gambar 4 Visualisasi Api Stabil (Pengaruh Diameter *Obstacle Disc*)

Pengaruh Posisi Aksial *Obstacle Disc*

Diagram Kestabilan

Untuk mengetahui pengaruh posisi aksial *obstacle disc* terhadap kestabilan dan struktur api, maka digunakan *obstacle disc* berdiameter 15 mm, dengan variasi posisi aksial 0, 5, dan 10 mm. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 (a)~(c) dalam bentuk diagram kestabilan.

Secara umum, posisi aksial tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap bentuk dan kecenderungan dari batas api stabil-*liftoff*. Hal yang menarik di sini adalah panjang dari batas api stabil-*liftoff* pada posisi 0 mm adalah paling pendek, kemudian diikuti posisi 5 dan 10 mm. Pada posisi 5 mm, pada debit udara lebih dari ±2225 cm^3/s, batas api stabil-*liftoff* tidak teramati atau dengan kata lain api tetap dalam kondisi stabil walaupun debit bahan bakar dinaikkan lebih tinggi lagi. Posisi tidak teramatinya batas stabil-*liftoff* ini untuk posisi 10 mm adalah ±2400 cm^3/s

Visualisasi

Visualisasi pengaruh posisi aksial obstacle *disc* terhadap bentuk dan geometri api ditampilkan pada Gambar 6 (a)~(c) di mana kondisi debit udara 2358 cm3/s dan debit bahan bakar 62,88 cm3/s. Dari gambar-gambar ini secara umum diketahui pada pangkal api masih terdapat api berwarna biru yang menunjukkan adanya daerah *fuel-lean*. Perubahan posisi aksial *obstacle disc* ke arah hilir membuat daerah api lebih lebar dan memperjelas bentuk cincin di sekitar pangkal api. Lebar api pada posisi 5 dan 10 mm, masing-masing adalah 56 dan 67 mm. Juga terlihat lebih jelas pola pilinan api pada posisi 10 mm, di mana pada posisi 0 dan 5 mm lebih terlihat seperti gumpalan-gumpalan api.

Pembahasan

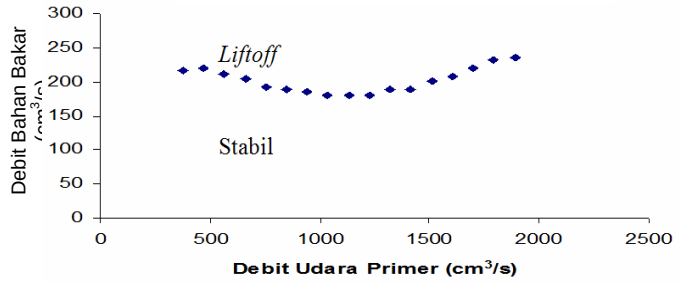
Pengaruh Ukuran Diameter Obstacle

Dari hasil-hasil di atas diketahui bahwa semakin besar ukuran diameter obstacle memberikan tingkat kestabilan api yang lebih tinggi (daerah api stabil semakin luas). Hal ini dapat dipahami sebagai berikut. Bahan bakar yang menyembur keluar dari *fuel tube* mempunyai kesempatan untuk berekspansi di ruang bakar dan sebagian terakumulasi di belakang *obstacle*. Adapun aliran udara yang terhalang *obstacle* tidak dapat bertumbukan langsung dengan aliran bahan bakar di ujung saluran bahan bakar. Setelah melewati *obstacle* maka sebagian udara akan tertarik menuju ujung saluran bahan bakar sehingga membentuk zona resirkulasi dan bercampur dengan bahan bakar. Semakin besar diameter *obstacle disc* membuat zona resirkulasi semakin lebar sehingga proses pencampuran bahan bakar dan udara semakin baik. Hal ini menjaga pangkal api tetap berada di sekitar ujung saluran bahan bakar walaupun kecepatan bahan bakar semakin tinggi.

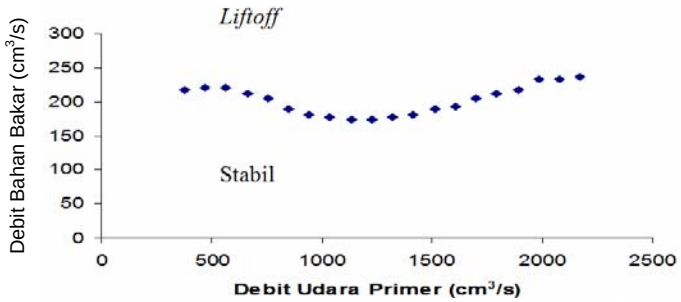
Pengaruh Posisi Aksial Obstacle

ISBN : 978-602-97742-0-7

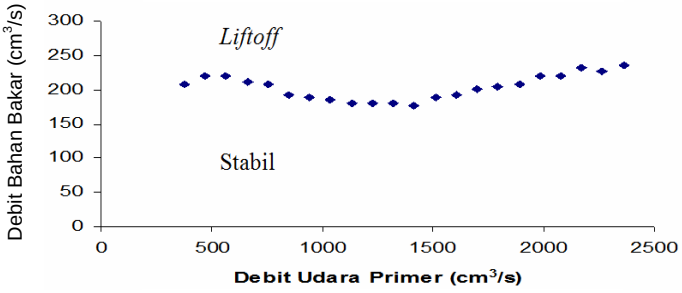
Dari Gambar 5 (a)~(c), dapat disimpulkan bahwa tingkat kestabilan api paling tinggi didapatkan apabila *obstacle disc* diletakkan pada ujung burner (ujung saluran udara).



(a) Posisi Aksial 0 mm

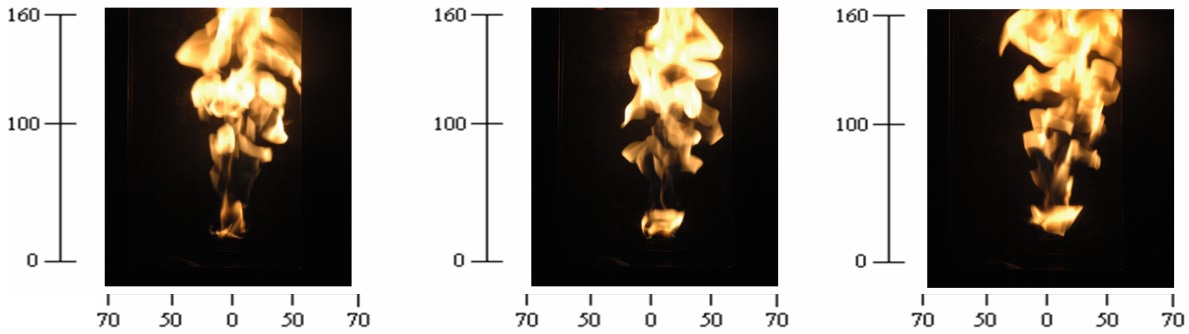


(b) Posisi Aksial 5 mm



(c) Posisi Aksial 10 mm

Gambar 5 Diagram Kestabilan (Pengaruh Diameter *Obstacle Disc*)



(a) Posisi 0 mm (b) Posisi 5 mm (c) Posisi 10 mm

Gambar 6 Visualisasi Api Stabil (Pengaruh Diameter *Obstacle Disc*)

ISBN : 978-602-97742-0-7

Hal ini karena ketika *obstacle disc* relatif jauh dari ujung burner maka momentum udara yang mempunyai arah aksial akan semakin besar. Akibatnya tumbukan antara udara dan bahan bakar secara langsung menjadi semakin intensif dan akhirnya mengganggu proses pencampuran bahan bakar dan udara. Ditinjau dari kinetika reaksi maka dapat diprediksi bahwa dengan semakin jauhnya obstacle disc dari ujung burner maka perbandingan *characteristic flow time* dan *characteristic chemical reaction time* (biasa disebut sebagai bilangan Damköhler) semakin kecil sehingga semakin tidak stabil.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan ini dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Obstacle disc* dengan diameter lebih besar memberikan tingkat kestabilan yang lebih baik, ukuran api yang lebih lebar, dan menyempurnakan proses pembakaran.
2. *Obstacle disc* dengan posisi lebih jauh dari ujung burner menurunkan tingkat kestabilan api, dan memperlebar ukuran api.

Daftar Pustaka

Cha, M.S., 1996, Characteristics of Lifted Flames in Premixed Turbulent Confined Jet, Int'l 26th Symp. On Combustion.

Esquiva-Dano, I., et al., Influence of a Bluff-Body's Shape on the Stabilization Regime of Non-Premixed Flames, Combustion and Flames, vol.127.

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

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

ISBN : 978-602-97742-0-7