

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENGUJIAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data mentah berupa data Δh pada manometer. Data ini kemudian dikonversi menjadi data kecepatan aliran, baik itu kecepatan udara, V_o , maupun data kecepatan bahan bakar, V_f . Pengkonversian ini menggunakan persamaan kalibrasi yang telah diperoleh dan dijelaskan sebelumnya (lihat Bab III).

Dalam mempelajari karakteristik nyala difusi *counter flow* ini, penulis melakukan analisa dengan pendekatan fluks momentum (laju perubahan momentum per satuan luas). Hal ini didasarkan pada tipe aliran bahan bakar dan udara yang diuji yaitu tipe tabrakan aliran fluida. Dimana diketahui bahwa dalam tabrakan fluida terdapat beberapa variabel yang berperan diantaranya massa fluida sebagai korelasi dari sifat fluida (densitas) dan juga kecepatan fluida. Selain itu diketahui juga bahwa dalam aliran turbulen, fluks momentum merupakan korelasi dari tegangan geser turbulen atau tegangan Reynolds yang bersangkutan dengan fluktuasi turbulen. Untuk lebih jelasnya mengenai perhitungan fluks momentum yang digunakan, maka dapat dilihat dalam rumus berikut ini.

$$\tau = \rho v^2 \tag{4.1}$$

Dimana:

τ = Fluks momentum, (kg/ms²)

ρ = Kerapatan fluida, (kg/m³)

v = Kecepatan aliran fluida, (m/s)

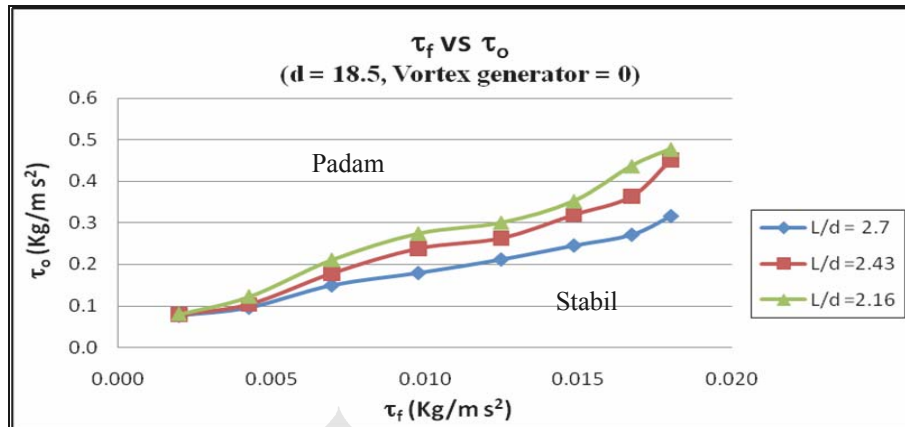
Pada perhitungan fluks momentum ini kerapatan (*density*) udara dan bahan bakar dianggap konstan, pada kondisi $T_\infty = 300$ K. dan $P = 1$ atm (=101.325 Pa).

$$\rho_{\text{oksigen}} = 1.1614 \text{ kg/m}^3$$

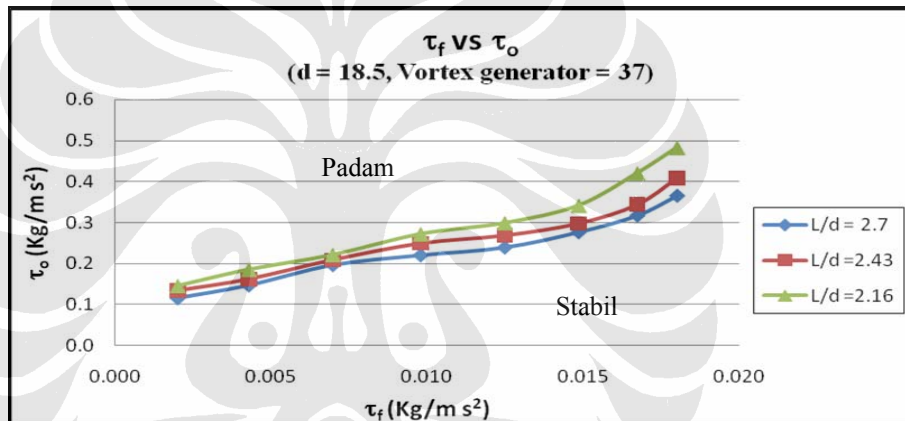
$$\rho_{\text{propana}} = 1.854 \text{ kg/m}^3$$

(Dari Ref. [3]. *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*)

4.1.1 Limit Stabilitas Nyala Untuk Diameter Nosel, $d = \text{Ø}18.5 \text{ mm}$

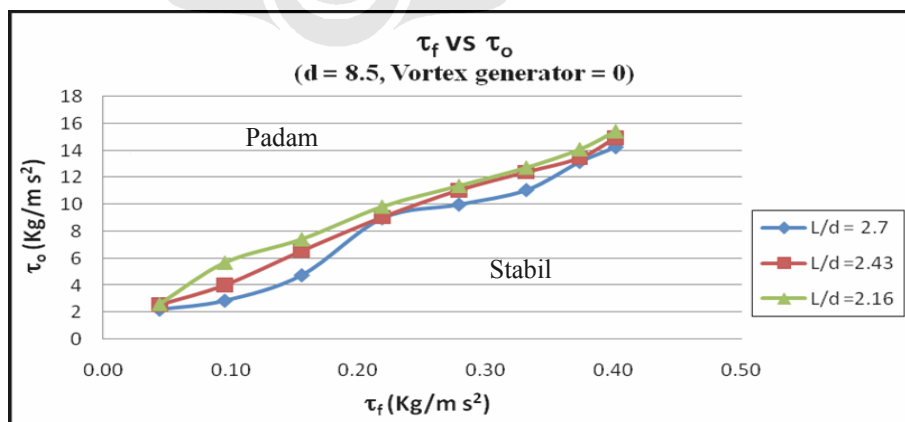


Gambar 4.1 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}18.5$ & *Vortex Generator* = 0 mm)

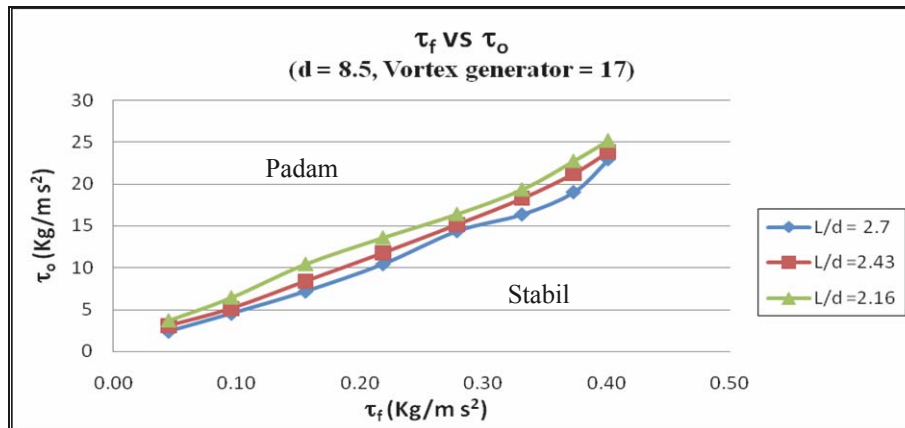


Gambar 4.2 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}18.5$ & *Vortex Generator* = $2d = 37$ mm)

4.1.2 Limit Stabilitas Nyala Untuk Diameter Nosel, $d = \text{Ø}8.5 \text{ mm}$

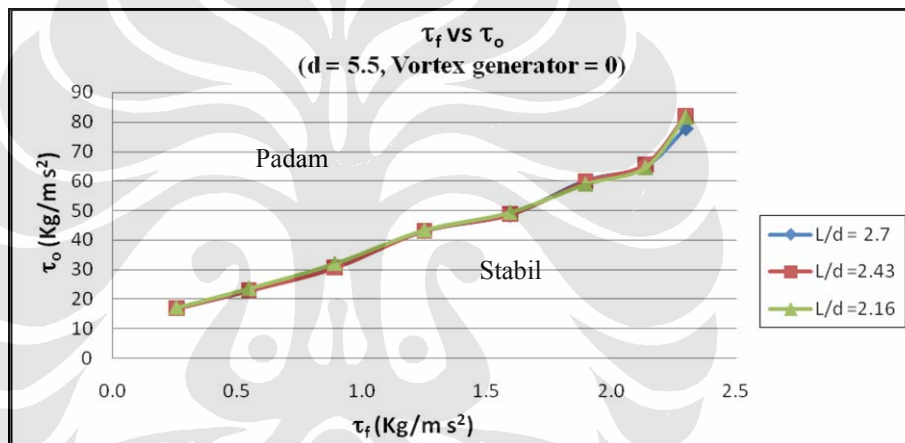


Gambar 4.3 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}8.5$ & *Vortex Generator* = 0 mm)

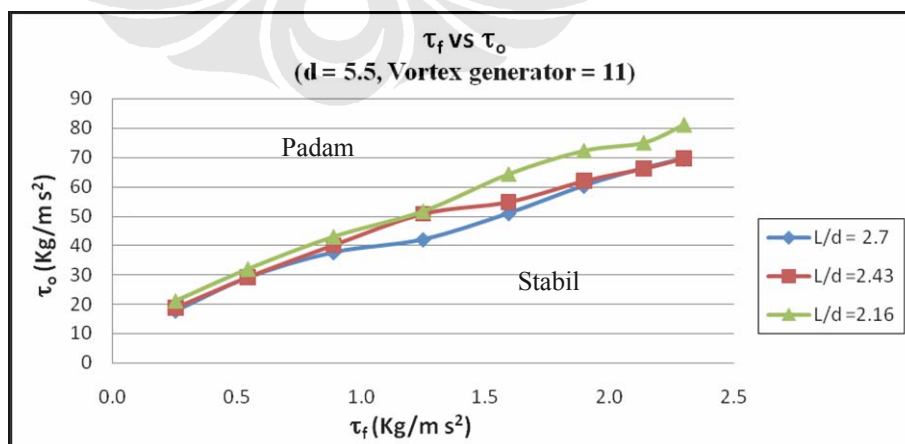


Gambar 4.4 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \varnothing 8.5$ & Vortex Generator = $2d = 17$ mm)

4.1.3 Limit Stabilitas Nyala untuk Diameter nosel $d = \varnothing 5.5$ mm



Gambar 4.5 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \varnothing 5.5$ & Vortex Generator = 0 mm)



Gambar 4.6 Limit stabilitas nyala untuk $L/d = 2,7; 2,43; 2,16$. Pada kondisi pengujian ($d = \varnothing 5.5$ & Vortex Generator = $2d = 11$ mm)

Dari sejumlah grafik di atas, terlihat bahwa limit stabilitas nyala, yang ditandai dengan fluks momentum bahan bakar, akan berbanding terbalik dengan fluks momentum udara. Kurva untuk setiap grafik di atas polanya tidak berbeda jauh satu sama lain, yaitu mendekati linier, di mana daerah di atas kurva kestabilan, menunjukkan kondisi *extinct* (padam).

4.2 PEMBAHASAN

Di bawah ini akan coba penulis bahas hasil pengolahan data stabilitas nyala diatas dengan disertai beberapa parameter yang mempengaruhinya.

4.2.1 Pengaruh Fluks Momentum Udara, (τ_o)

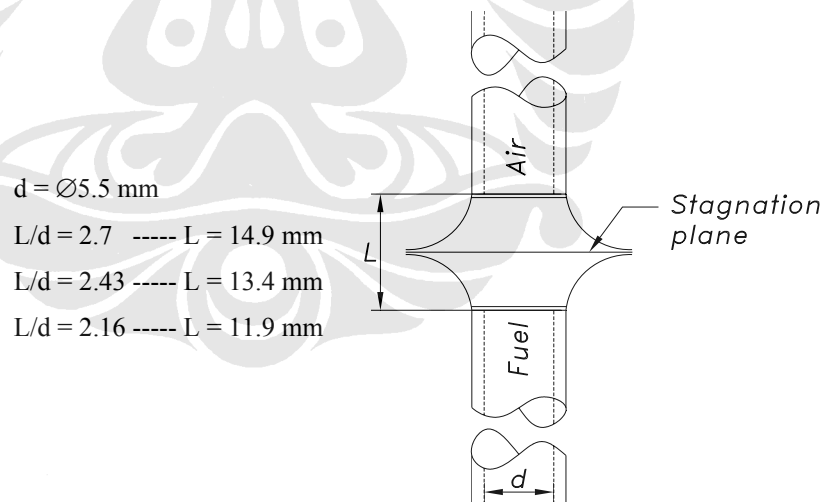
Dari data hasil pengukuran limit stabilitas nyala di atas (lihat Gambar 4.1 sampai 4.6), baik itu untuk diameter dalam $\varnothing 18.5$, $\varnothing 8.5$, maupun $\varnothing 5.5$ mm dan rasio L/d 2.7, 2.43, dan 2.16, ternyata menunjukkan pola yang seragam. Terlihat bahwa setiap kenaikan rasio fluks momentum (τ_o/τ_f), akan menyebabkan turunnya limit stabilitas nyala. Penurunan ini ditandai dengan semakin besarnya suplai bahan bakar yang dibutuhkan (fluks momentum τ_f meningkat) untuk setiap kenaikan τ_o , untuk menjaga nyala di dalam daerah stabil. Sehingga bisa dikatakan bahwa pada saat mendekati *extinct*, untuk menjaga nyala dalam kondisi stabil. Maka hal yang harus dilakukan adalah menurunkan nilai fluks momentum udara atau dengan menaikkan fluks momentum bahan bakar.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa, semakin meningkatnya fluks momentum udara τ_o , maka akan menurunkan limit stabilitas nyala. Dan jika dihubungkan dengan variabel kecepatan, dimana fluks momentum merupakan perkalian antara densitas fluida dengan pangkat dua kecepatan fluida (ρv^2). Maka fluks momentum berbanding lurus dengan kecepatan fluida pangkat dua, sehingga semakin tinggi kecepatan fluida, maka semakin tinggi pula fluks momentum fluida. Dan jika dilakukan pendekatan dengan menggunakan kecepatan fluida bahan bakar dan udara, maka dapat dikatakan bahwa dengan meningkatnya kecepatan udara, akan menurunkan limit stabilitas nyala karena kecepatan injeksi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menjaga nyala stabil juga semakin meningkat.

4.2.2 Pengaruh Gap-Diameter Dalam Nosel, L/d

Data hasil pengukuran limit stabilitas nyala di atas (lihat Gambar 4.1 sampai 4.6), menunjukkan adanya pengaruh rasio jarak antara nosel bahan bakar dan udara dengan diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala propana. Contohnya dari gambar 4.1 (lihat lampiran 2) terlihat bahwa untuk $L/d = 2,7$ kondisi stabil dapat terjadi pada saat fluks momentum udara mulai dari 0,0764 sampai 0,316 kg/ms^2 , untuk $L/D = 2,43$ kondisi nyala akan stabil jika fluks momentum udara dalam kisaran yang lebih besar, yakni 0,0783 sampai 0,451 kg/ms^2 . Sedangkan untuk $L/D = 2,16$ kondisi nyala akan stabil jika fluks momentum udara dalam kisaran yang jauh lebih besar, yaitu 0,0802 sampai 0,477 kg/ms^2 . Daerah diatas kedua kisaran fluks momentum adalah daerah nyala api padam (*extinct*), sedangkan daerah dibawah kedua kisaran tersebut adalah daerah nyala api stabil.

Dari data diatas dapat dinyatakan bahwa dengan penurunan rasio jarak nosel terhadap diameter dalam nosel maka akan menyebabkan naiknya limit stabilitas nyala. Hal ini ditandai dengan semakin besarnya fluks momentum udara, τ_o yang dibutuhkan untuk membuat nyala api padam (*extinct*).



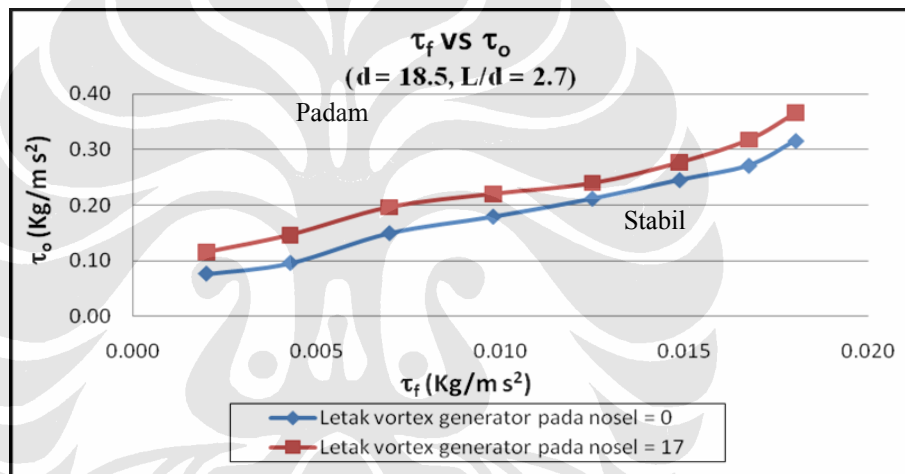
Gambar 4.7 Kondisi pengukuran pada $d = \text{Ø}5.5 \text{ mm}$ dan *vortex generator* = 0

Tapi pada kondisi pengujian yang diambil pada geometri ($d = \text{Ø}5.5 \text{ mm}$, dan *Vortex generator* = 0) seperti yang ditunjukkan pada kurva 4.5, dapat dilihat bahwa untuk rasio L/d yang berbeda ternyata garis kestabilan yang terbentuk relatif sama atau mendekati satu garis. Hal ini dapat disebabkan karena pada kondisi pengujian ini perbedaan gap antara nosel bahan bakar dan udara sangat

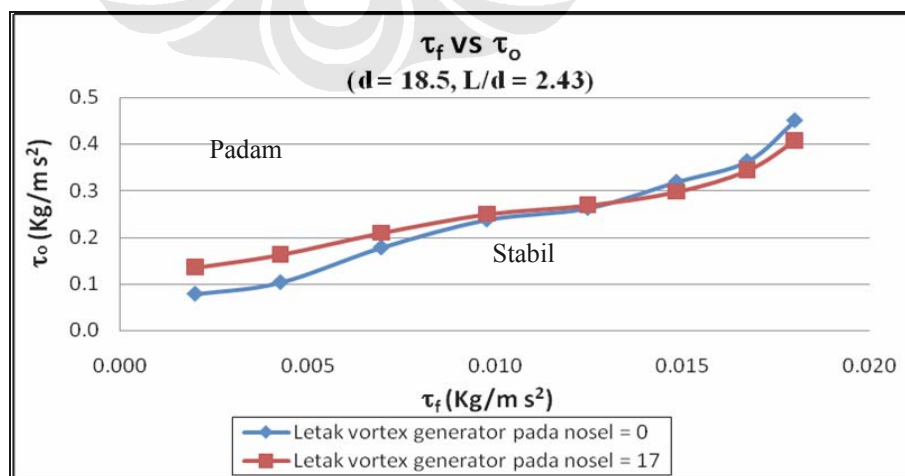
kecil yaitu sebesar 1.5 mm dengan rincian sebagai berikut : L/d 2.7 ($L = 14.9$ mm), L/d 2.43 ($L = 13.4$ mm), L/d 2.16 ($L = 11.9$ mm) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 diatas, sehingga area pencampuran reaktan karena pengaruh turbulensi relatif sama. Dan menyebabkan pengaruh variasi L/d pada kondisi ini sebagai korelasi dari area pencampuran yang dicapai oleh turbulensi aliran tidak terlihat.

4.2.3 Pengaruh Letak Vortex Generator

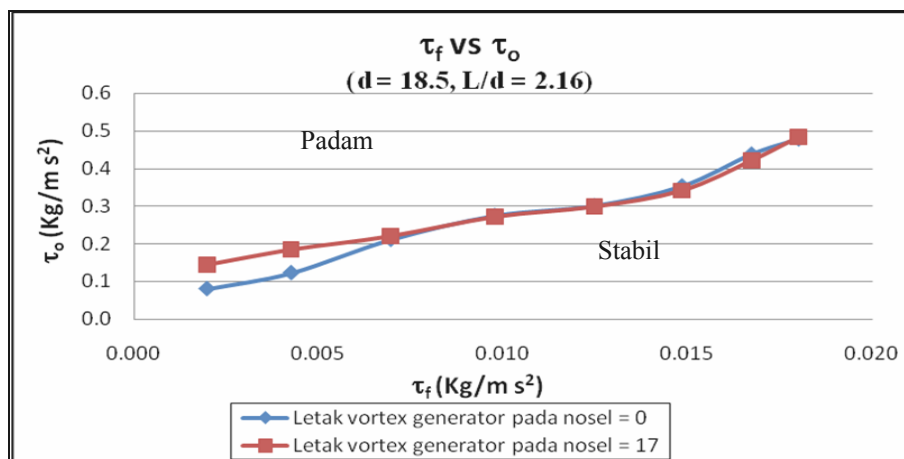
Dari hasil pengukuran limit stabilitas nyala pada gambar 4.8 sampai gambar 4.16 dibawah ini menunjukkan adanya pengaruh letak *vortex generator* pada nosel terhadap limit stabilitas nyala propana.



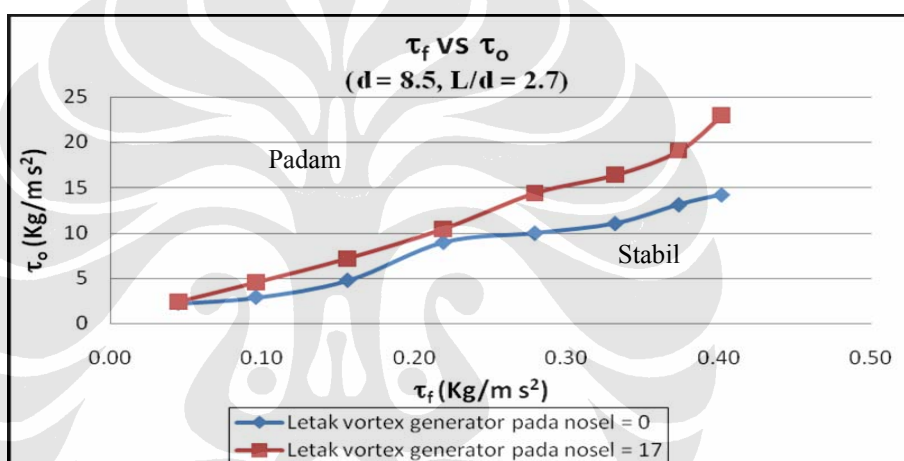
Gambar 4.8 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \varnothing 18.5$ & $L/D = 2,7$)



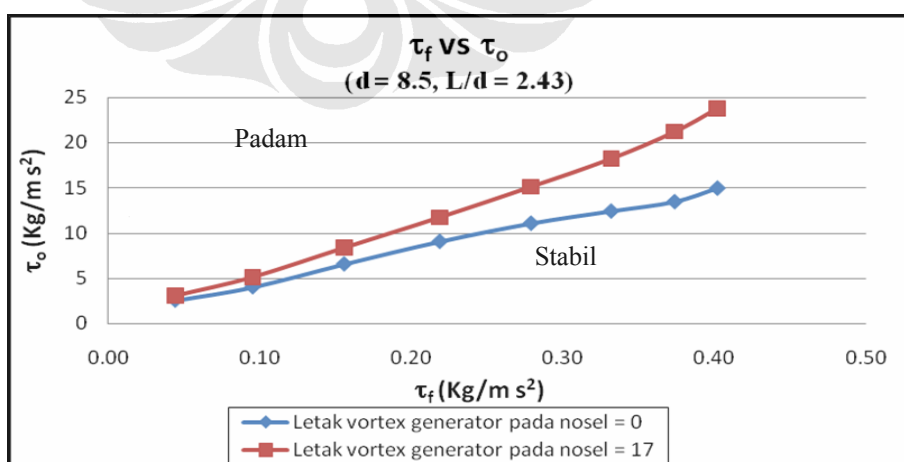
Gambar 4.9 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \varnothing 18.5$ & $L/D = 2,43$)



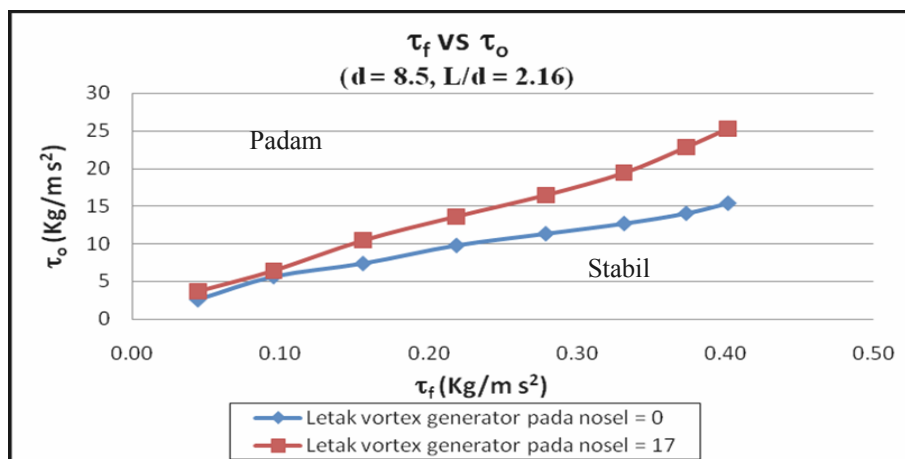
Gambar 4.10 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}18.5$ & $L/D = 2,16$)



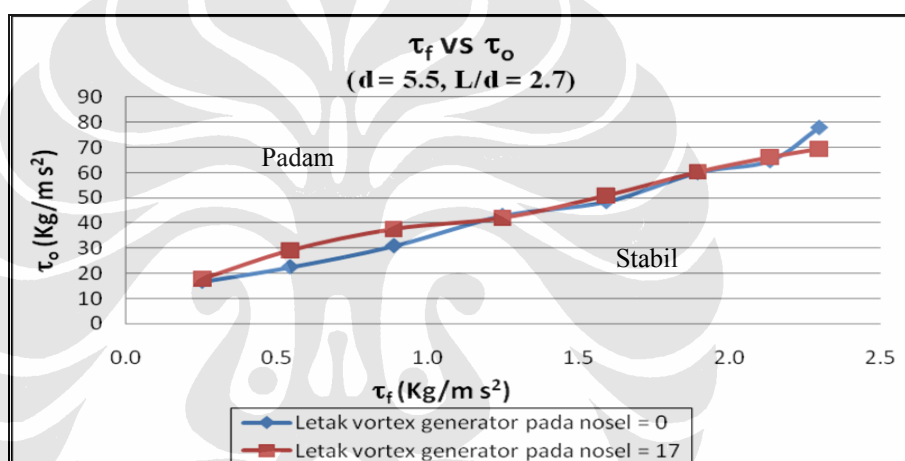
Gambar 4.11 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}8.5$ & $L/D = 2,7$)



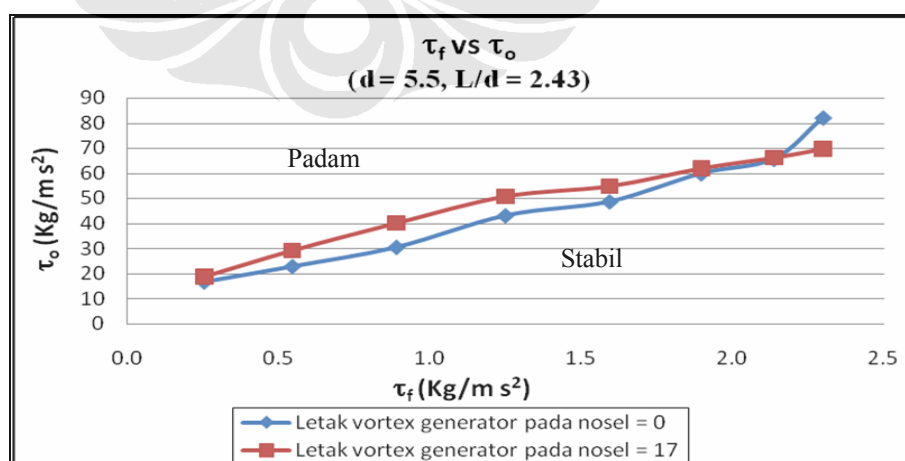
Gambar 4.12 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}8.5$ & $L/D = 2,43$)



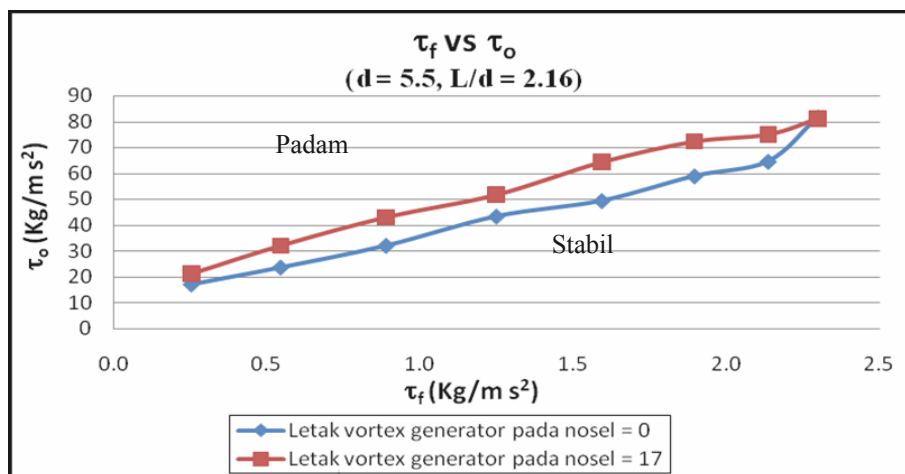
Gambar 4.13 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}8.5$ & $L/D = 2,16$)



Gambar 4.14 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}5.5$ & $L/D = 2,7$)



Gambar 4.15 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}5.5$ & $L/D = 2,43$)



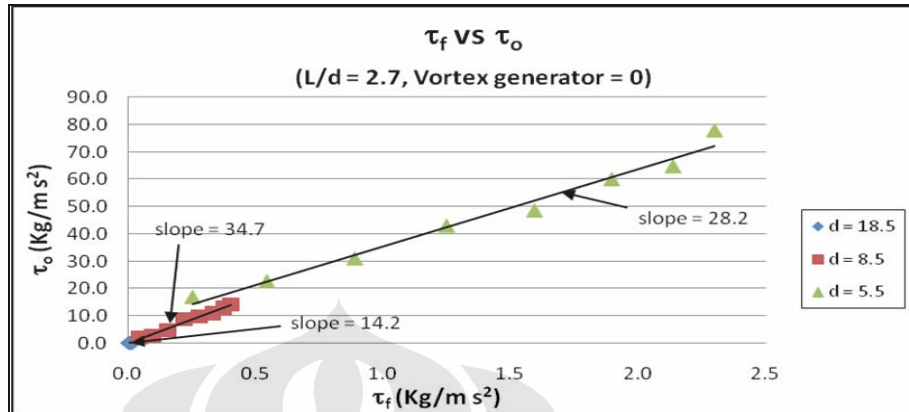
Gambar 4.16 Pengaruh letak *vortex generator* terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($d = \text{Ø}5.5$ & $L/D = 2,16$)

Dari perbandingan jarak *vortex generator* diatas, terlihat bahwa semakin jauh letak *vortex generator* dari ujung nosel ternyata menyebabkan semakin besarnya fluks momentum udara yang dibutuhkan untuk membuat nyala api padam (*extinct*). Contohnya pada gambar 4.13 dengan kondisi pengukuran $d = \text{Ø}8.5$ mm dan L/d 2,16, untuk letak *vortex generator* = 0 kondisi stabil dapat terjadi saat fluks momentum udara mulai dari 2.610 sampai 15.416 kg/ms². Sedangkan untuk *vortex generator* = 11, kondisi nyala akan stabil jika fluks momentum udara dalam kisaran yang lebih tinggi yaitu dari 3.688 sampai 25.234 kg/ms². Daerah diatas kedua kisaran fluks momentum tersebut adalah daerah nyala api padam (*extinct*), sedangkan daerah dibawah kedua kisaran fluks momentum adalah daerah nyala api stabil.

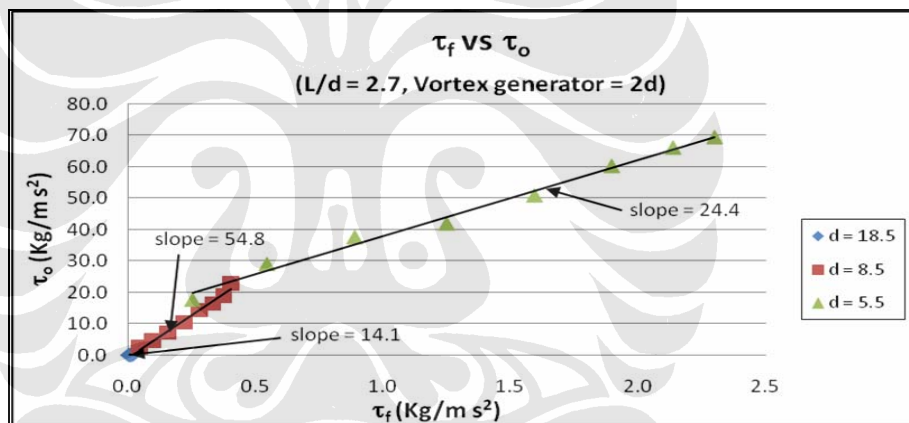
Dari data diatas dapat dinyatakan bahwa dengan semakin jauh jarak *vortex generator* dari ujung *burner* maka akan menyebabkan naiknya limit stabilitas nyala. Hal itu disebabkan karena dengan semakin jauh *vortex generator* dari ujung nosel maka aliran bahan bakar dan udara akan mendekati aliran laminar, atau bisa dinyatakan bahwa pengaruh turbulensi akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena semakin jauh jarak *vortex generator* dari ujung nosel akan menyebabkan ulakan-ulakan yang berskala agak besar yang terbentuk dibelakang *vortex generator*, akan saling berinteraksi dan berdisipasi menjadi ulakan-ulakan yang lebih kecil sampai akhirnya mencapai ujung nosel.

4.2.4 Pengaruh Diameter Dalam Nosel, d

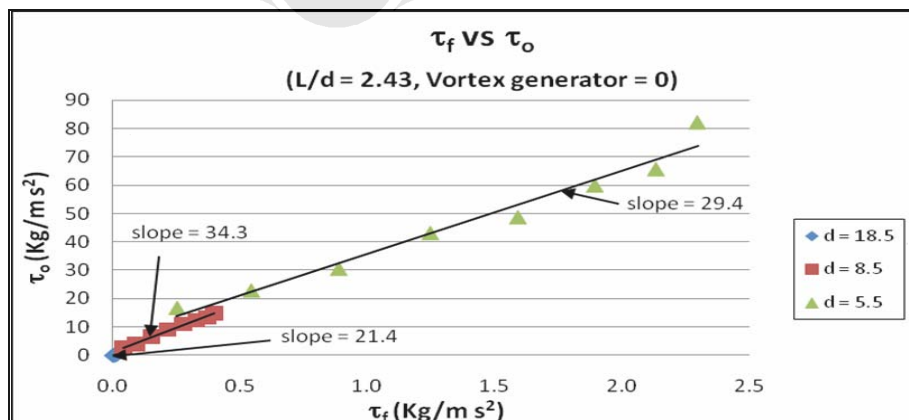
Gambar 4.17 sampai gambar 4.22 dibawah ini menunjukkan adanya pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala.



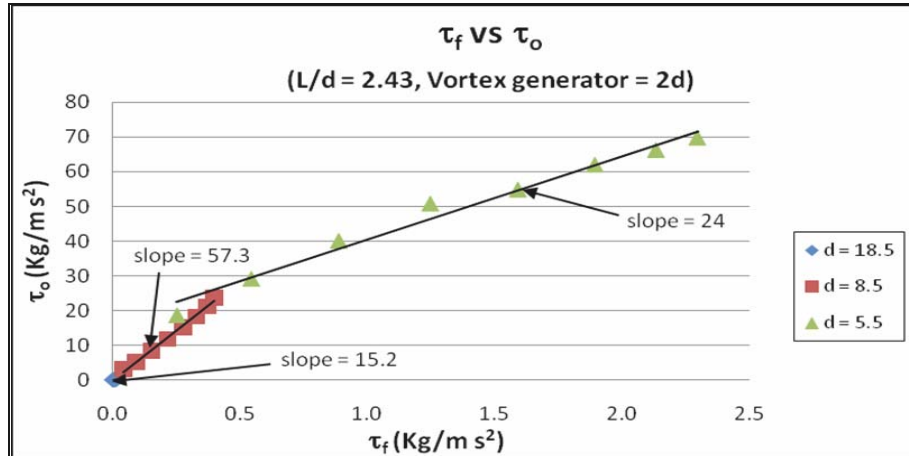
Gambar 4.17 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,7$ & *Vortex Generator* = 0)



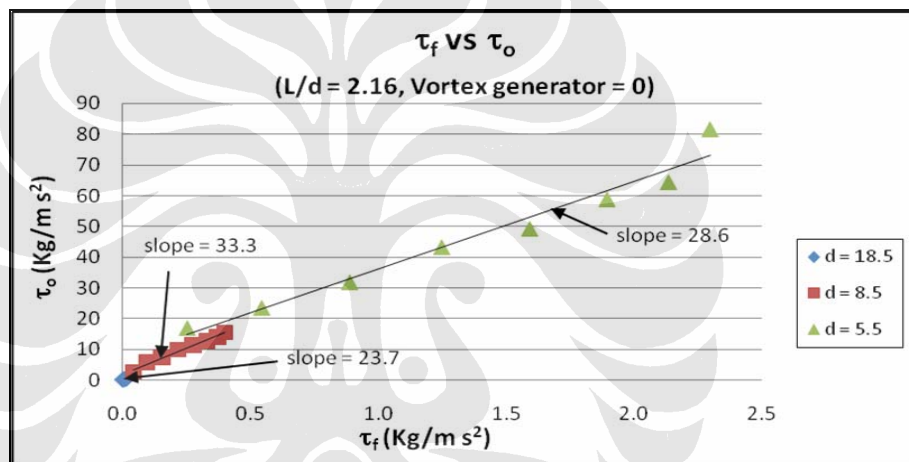
Gambar 4.18 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,7$ & *Vortex Generator* = 2d)



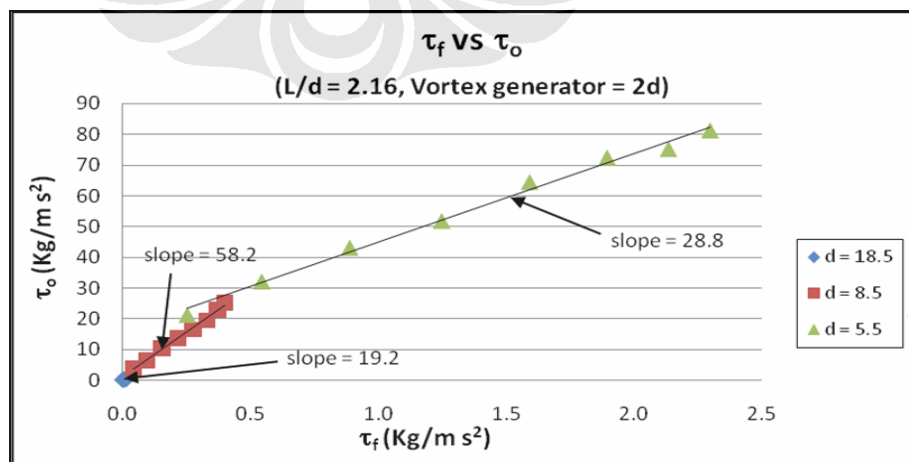
Gambar 4.19 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,43$ & *Vortex Generator* = 0)



Gambar 4.20 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,43$ & *Vortex Generator* = $2d$)



Gambar 4.21 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,16$ & *Vortex Generator* = 0)



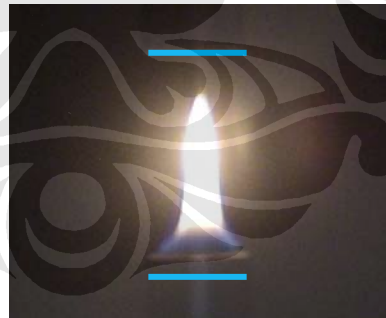
Gambar 4.22 Pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala, pada kondisi pengujian ($L/d = 2,16$ & *Vortex Generator* = $2d$)

Dari gambar pengaruh diameter dalam nosel terhadap limit stabilitas nyala diatas dapat dinyatakan bahwa masing-masing diameter nosel tersebut menempati suatu range data hasil pengukuran yang berbeda. Sebagai contohnya pada gambar 4.22 dimana kondisi pengukuran yang diatur pada $L/d = 2,16$ dan $vortex\ generator = 2d$. Diameter nosel $\varnothing 18,5$ mm memiliki tingkat kemiringan (*slope*) 19.2, diameter nosel $\varnothing 8,5$ mm memiliki tingkat kemiringan 58.2, sedangkan diameter nosel $\varnothing 5,5$ mm memiliki tingkat kemiringan 28.8.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai limit stabilitas yang paling tinggi didapatkan pada diameter nosel $\varnothing 8,5$ dan nilai ini akan menurun dengan memperbesar dan juga dengan memperkecil diameter dalam nosel. Dengan kata lain untuk mendapatkan nilai stabilitas nyala yang paling tinggi kita harus lebih banyak melakukan variasi diameter dalam nosel sehingga didapatkan hasil pada diameter berapa, limit stabilitas nyala paling tinggi dapat tercapai.

4.2.5 Konfigurasi Nyala Difusi *Counter Flow*

Sebelum mempelajari mengenai konfigurasi nyala difusi pada medan aliran berlawanan, ada baiknya jika kita mengetahui bentuk konfigurasi nyala difusi laminar sebagai suatu contoh dari nyala api satu dimensi berikut ini.



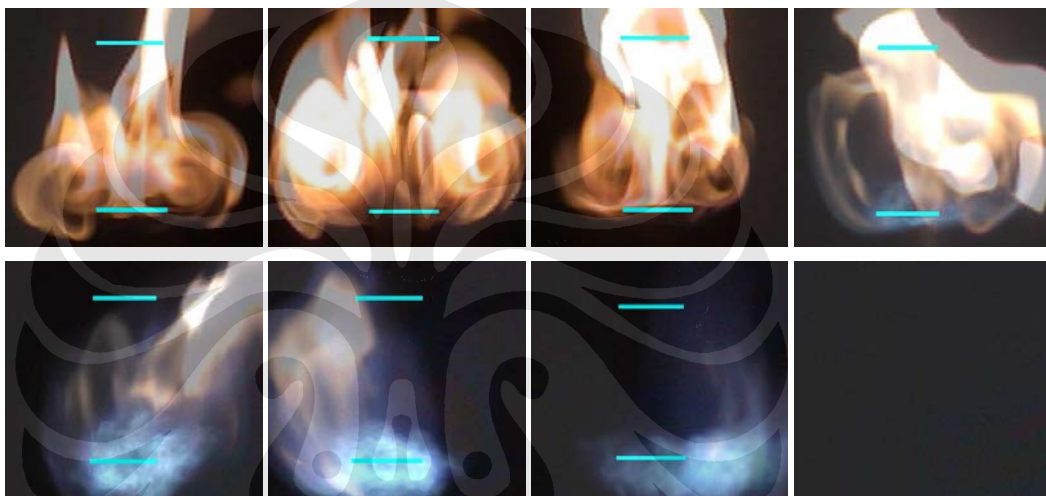
Gambar 4.23 Nyala difusi laminar

Nyala api difusi laminar diatas terjadi pada kondisi tidak ada suplai udara dari nosel atas, jadi hanya diberikan suplai bahan bakar propana dari nosel bawah. Kondisi pencampuran terjadi antara bahan bakar yang di injeksikan dengan oksidan yang ada dilingkungan laboratorium.

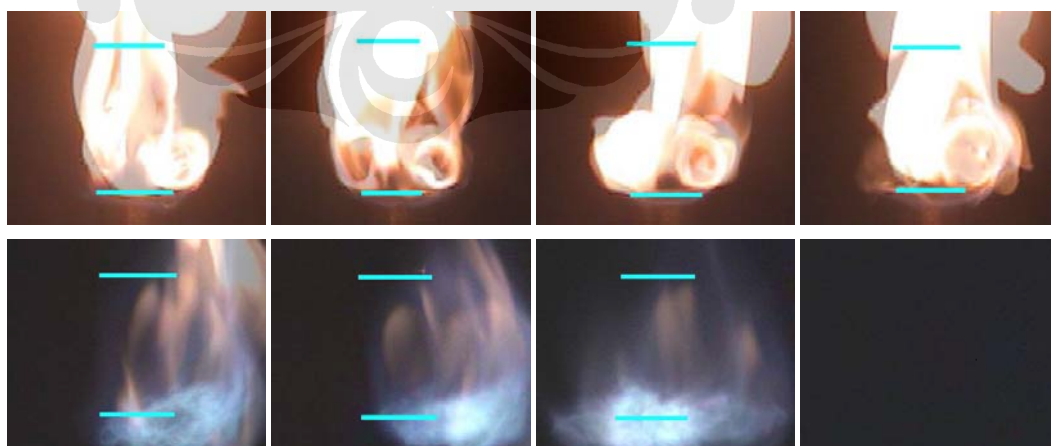
Dengan menginjeksikan oksidan dari nosel atas yang terletak simetris, maka akan terbentuk suatu konfigurasi nyala difusi *counter flow*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.24 s/d gambar 4.35 dibawah ini. Metode pengambilan

gambar visualisasi dilakukan dengan melakukan pengaturan parameter geometri terlebih dahulu. Dalam hal ini variasi parameter geometri yang digunakan adalah diameter dalam nosel ($\varnothing 18.5$, $\varnothing 8.5$, $\varnothing 5.5$ mm), rasio gap-diameter nosel (2.7, 2.43, 2.16), aliran bahan bakar diatur pada Δh 100 dan 300 mm dan data mentah aliran udara yang diambil adalah Δh pada saat terjadi *extinct*.

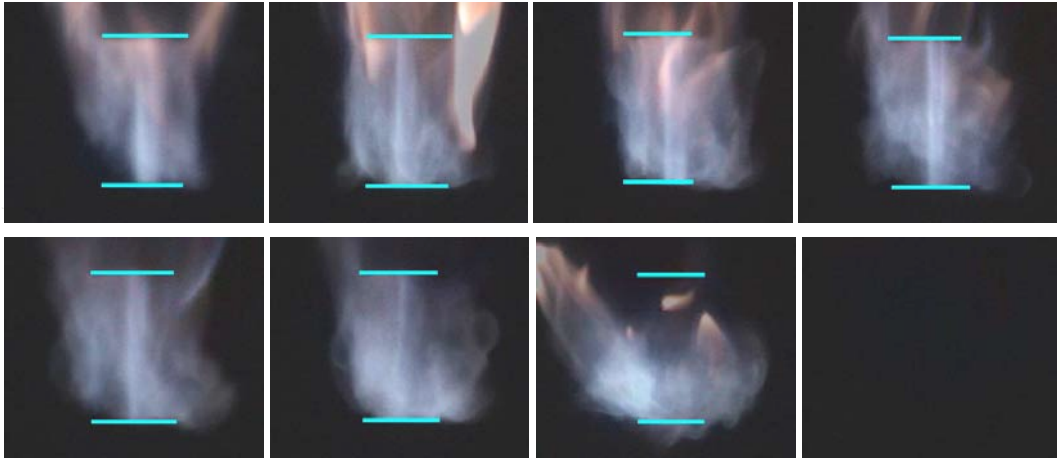
Pada gambar 4.24 s/d gambar 4.32 dibawah ini menunjukkan konfigurasi nyala difusi *counter flow* pada saat menjelang *extinct* dengan beberapa parameter geometri dan dinamika fluida yang diatur. Dan pada gambar 4.34 dan 4.35 menunjukkan konfigurasi nyala stagnasi.



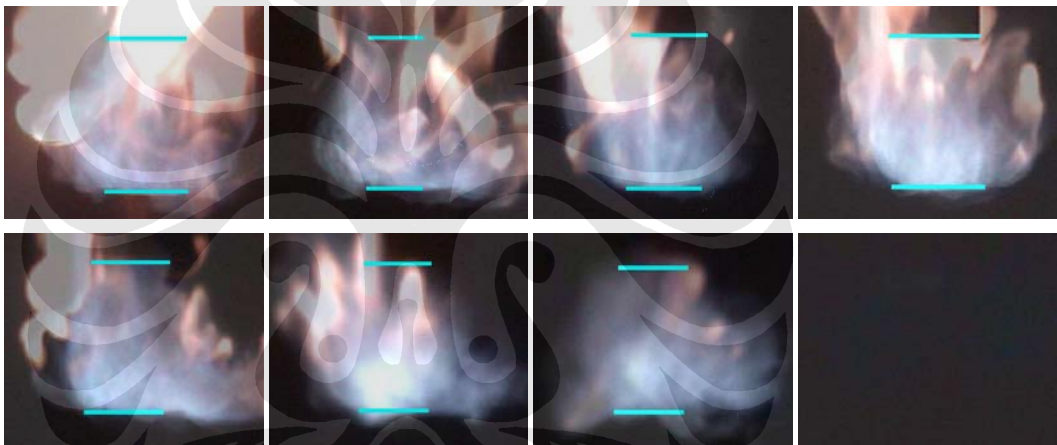
Gambar 4.24 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \varnothing 18.5$ mm, $V_{gen} = 0$, $L/d = 2.7$, $\tau_f = 0.0147$ kg/ms², τ_o stabil = 0.111 kg/ms², τ_o *extinct* = 0.172 kg/ms²)



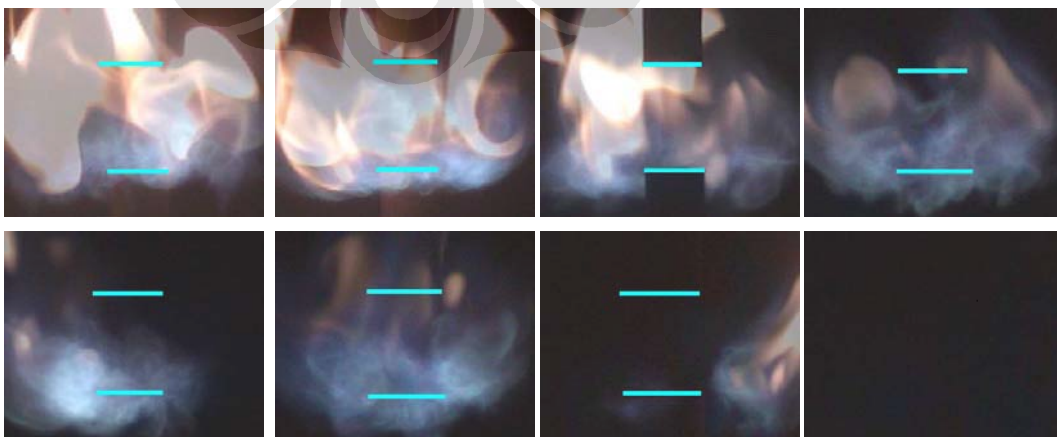
Gambar 4.25 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \varnothing 18.5$ mm, $V_{gen} = 0$, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.0147$ kg/ms², τ_o stabil = 0.14 kg/ms², τ_o *extinct* = 0.182 kg/ms²)



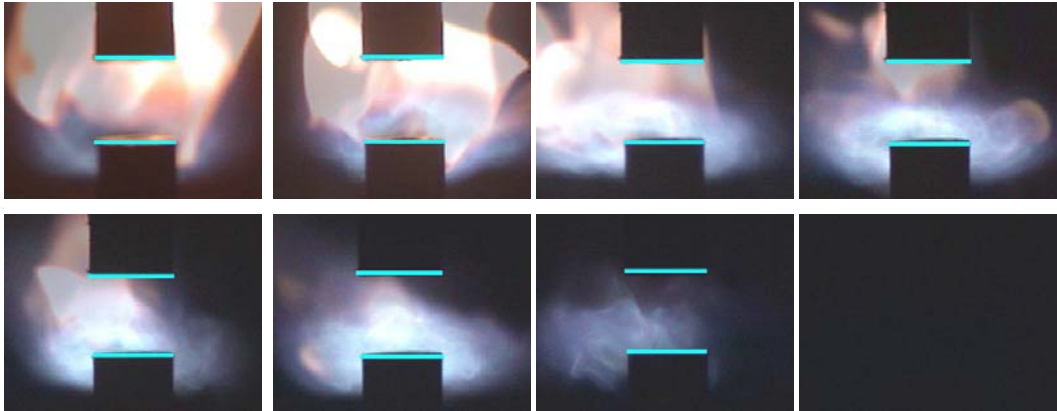
Gambar 4.26 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}18.5$ mm, $V.\text{gen} = 2d$, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.00427$ kg/ms², τ_o stabil = 0.126 kg/ms², τ_o *extinct* = 0.146 kg/ms²)



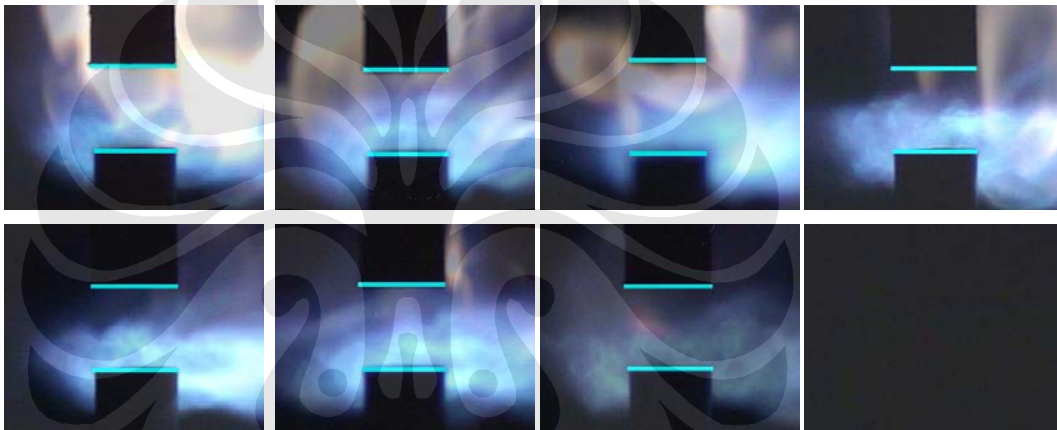
Gambar 4.27 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}18.5$ mm, $V.\text{gen} = 2d$, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.0147$ kg/ms², τ_o stabil = 0.188 kg/ms², τ_o *extinct* = 0.21 kg/ms²)



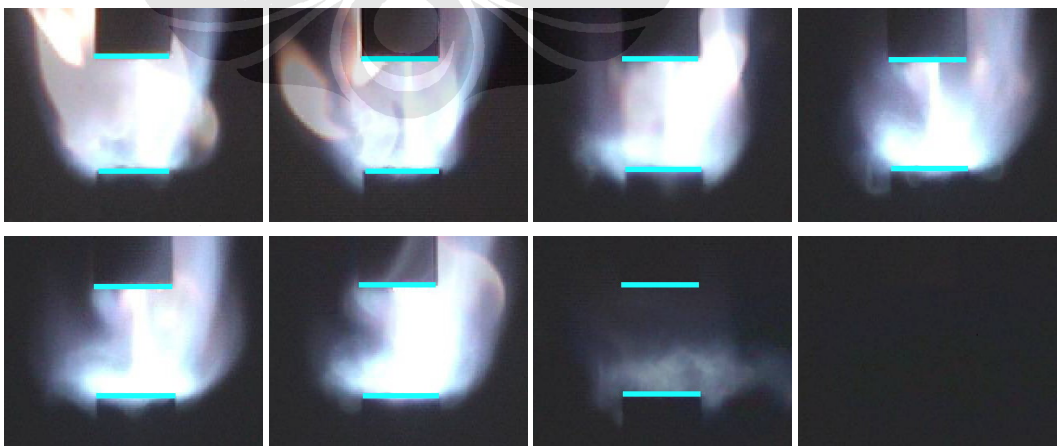
Gambar 4.28 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}8.5$ mm, $V.\text{gen} = 2d$, $L/d = 2.43$, $\tau_f = 0.095$ kg/ms², τ_o stabil = 4.758 kg/ms², τ_o *extinct* = 5.606 kg/ms²)



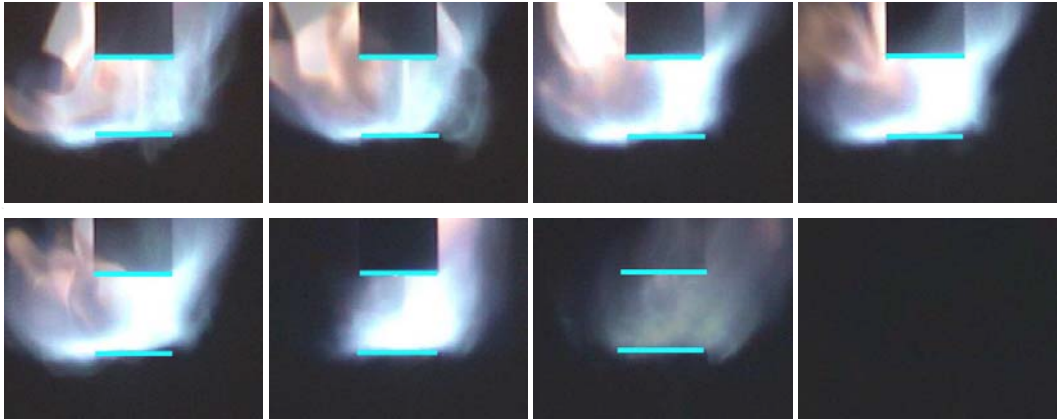
Gambar 4.29 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}5.5$ mm, Not use V.gen, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.545 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stabil = 109.46 kg/ms^2 , $\tau_o \text{ extinct} = 121.88 \text{ kg/ms}^2$)



Gambar 4.30 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}5.5$ mm, Not use V.gen, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 1.895 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stabil = 166.91 kg/ms^2 , $\tau_o \text{ extinct} = 176.4 \text{ kg/ms}^2$)



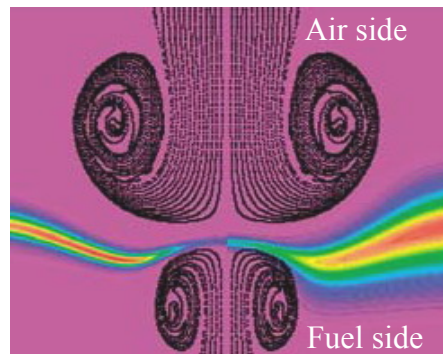
Gambar 4.31 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}5.5$, V.gen= $2d$, $L/d = 2.7$, $\tau_f = 0.545 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stabil = 24.854 kg/ms^2 , $\tau_o \text{ extinct} = 34.522 \text{ kg/ms}^2$)



Gambar 4.32 Konfigurasi nyala difusi *counter flow* menjelang *extinct* ($d = \text{Ø}5.5$ mm, $V_{\text{gen}} = 2d$, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.545 \text{ kg/ms}^2$, $\tau_o \text{ stabil} = 37.101 \text{ kg/ms}^2$, $\tau_o \text{ extinct} = 42.44 \text{ kg/ms}^2$)

Dari konfigurasi nyala difusi *counter flow* yang ditunjukkan pada gambar 4.24 s/d 4.32 diatas dapat dilakukan beberapa analisa kualitatif, diantaranya :

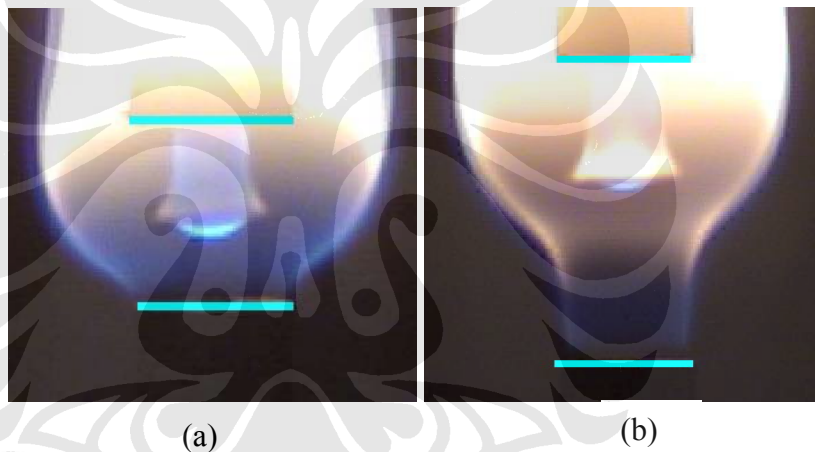
1. Pada konfigurasi nyala difusi *counter flow* diatas, menunjukkan bahwa pada saat mendekati proses *extinct*, secara garis besar nyala difusi didominasi oleh nyala biru. Hal ini disebabkan karena mendekati *extinct*, suplai udara kedalam zona reaksi semakin besar, sehingga dominasi nyala kuning yang menunjukkan konsentrasi partikel karbon (C), semakin lama akan semakin berkurang dan akan tergantikan dengan dominasi zona nyala biru yang menunjukkan campuran kaya oksidan/udara berlebih (*exceeds air*).
2. Pada konfigurasi nyala difusi *counter flow* yang ditunjukkan pada gambar 4.24 dan gambar 4.25, terlihat adanya pusaran-pusaran nyala (*vortex*). Hal ini bisa dihasilkan karena penempatan *vortex generator* pada ujung nosel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi *vortex flame* dibawah ini



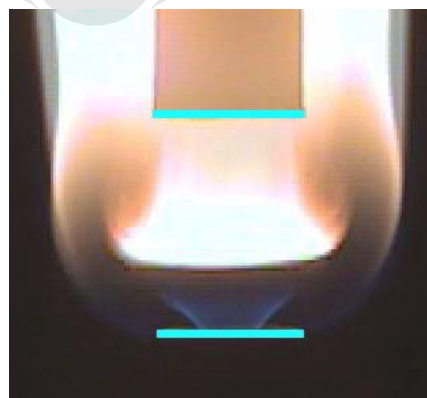
Gambar 4.33 Ilustrasi *vortex flame* [8]

Dari data yang ditunjukkan pada gambar 4.24 dimana nyala stabil terjadi pada $\tau_f = 0.0147 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stabil = 0.111 kg/ms^2 dan pada gambar 4.25 nyala stabil terjadi pada $\tau_f = 0.0147 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stabil = 0.14 kg/ms^2 . sehingga menyebabkan pusaran nyala (*vortex flame*) yang terjadi terletak didekat nosel bahan bakar. Hal ini dikarenakan karena dorongan yang dihasilkan dari aliran udara lebih besar dibandingkan yang berasal dari bahan bakar, sehingga pusaran terkonsentrasi didekat nosel bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.33 diatas.

Pada penelitian ini juga didapatkan suatu nyala api stagnasi, pada kondisi debit aliran bahan bakar dan udara yang proporsional. Untuk lebih jelasnya mengenai konfigurasi nyala api stagnasi, maka dapat dilihat pada gambar 4.34 dan 4.35 dibawah ini.



Gambar 4.34 Nyala api stagnasi (a) $d = \text{Ø}5.5 \text{ mm}$, *Not use V.gen*, $L/d = 2.7$, $\tau_f = 0.545 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stagnasi = 8.267 kg/ms^2 , (b) $d = \text{Ø}5.5 \text{ mm}$, *V.gen* = 0, $L = 27 \text{ mm}$, $\tau_f = 0.545 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stagnasi = 8.242 kg/ms^2



Gambar 4.35 Nyala api stagnasi ($d = \text{Ø}8.5 \text{ mm}$, *not use V.gen*, $L/d = 2.16$, $\tau_f = 0.0358 \text{ kg/ms}^2$, τ_o stagnasi = 1.936 kg/ms^2)

Dari visualisasi nyala stagnasi yang ditunjukkan pada gambar 4.34 dan 4.35 diatas dapat dilihat bahwa terdapat suatu nyala yang berada didalam nyala, hal ini dimungkinkan dapat terjadi berhubungan dengan adanya reaksi antara bahan bakar propana dengan udara luar disekitar nyala sehingga terbentuklah selubung nyala luar. Reaksi dengan udara luar ini terjadi karena jenis aliran bahan bakar dan udara yang digunakan pada eksperimen ini bukan merupakan aliran *coflow* yang menggunakan gas inert seperti nitrogen (N_2) untuk melindungi pencampuran reaktan pada zona reaksi dari udara luar.

