

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Data yang dihasilkan merupakan data yang didapat dari masing-masing variasi penelitian yaitu variasi jumlah sudu *swirl vanes* 4, 6 dan 8 dan kecepatan aliran udara yang diukur dengan *anemometer* melalui *orifice* udara aksial, serta kecepatan aliran bahan bakar yang diukur dengan *flowmeter*. Data temperatur api difusi diukur dengan menggunakan sensor *thermocouple* yang dihubungkan dengan *data logger*. Pengambilan data temperatur diambil di beberapa titik secara horizontal dan vertikal. Dari data temperatur api difusi kemudian dirata-rata agar diketahui distribusi temperatur secara vertikal dan horizontal. Data temperatur tersebut nantinya akan di *plotting* dengan menggunakan *software originpro* 2018. Selain pengambilan data temperatur juga dilakukan pengambilan data secara visual dengan menggunakan kamera pada variasi jumlah *swirl vanes*, kecepatan bahan bakar, dan kecepatan udara tertentu.

4.2. Perhitungan Data

4.2.1. Perhitungan Kecepatan Bahan Bakar dan Udara

Perhitungan kecepatan bahan bakar

Diketahui :

$$J \quad Q \text{ bahan bakar} = 0,3 \text{ lpm}$$

$$J \quad D \text{ bahan bakar} = 0,6 \text{ cm} = 0,006 \text{ m}$$

$$J \quad r \text{ bahan bakar} = 0,006 : 2 = 0,003 \text{ m}$$

$$Q = v \times A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{Q}{\pi r^2}$$

$$v = \frac{(0,3 : 60000)}{(3,14 \times 0,003^2)}$$

$$v = 0,18 \text{ m/s}$$

Perhitungan volume udara

Diketahui :

$$J \quad v \text{ udara dari blower} = 0,7 \text{ m/s}$$

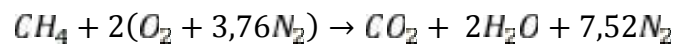
$$\begin{aligned}
) \quad r \text{ pipa udara} &= 1,25 \text{ cm} = 0,0125 \text{ m} \\
) \quad r \text{ pipa bahan bakar} &= 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m} \\
) \quad \text{Luas pipa udara} &= \text{luas pipa} - \text{luas saluran bahan bakar} \\
 &= \pi r^2 \text{ pipa} - \pi r^2 \text{ saluran bahan bakar} \\
 &= [(3,14 \times (0,0125)^2) - (3,14 \times (0,004)^2)] \\
 &= 0,00044038 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v \text{ saluran Udara} &= \frac{v_u \quad d \quad D \quad \times \quad A \quad D}{A \quad S \quad u} \\
 &= \frac{0,7 \times (3,1 \times 0,0 \times 0,0)}{0,0} \\
 &= 0,77985 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit} &= v \text{ saluran udara} \times A \text{ saluran udara} \\
 &= 0,77 \text{ m/s} \times 0,00044038 \text{ m}^2 \\
 &= 0,00034343 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 20,61 \text{ lpm}
 \end{aligned}$$

4.2.2. Perhitungan *Equivalence Ratio*

Dari data teori yang didapat saat kondisi *stokiometri* dibuktikan dengan perhitungan AFR *stokiometri* dari persamaan reaksi berikut :



$$\begin{aligned}
 A) \quad h &= \frac{N_u}{N_D \text{ na } b} \\
 A \quad h &= \frac{9,52}{1} = 9,52
 \end{aligned}$$

Mencari Nilai AFR aktual :



$$\begin{aligned}
 A &= \frac{N_u}{N_D \text{ na } b} \\
 A &= \frac{20,61}{1} = 20,61
 \end{aligned}$$

Hukum Gay Lussac menyatakan bahwa pada suhu yang sama dan tekanan yang sama, perbandingan volume reaktan dan volume produk sama dengan perbandingan mol udara dengan mol bahan bakar.

$$\Phi = \frac{(A)_{\text{S}} n}{(A)_{\text{a}}}$$

$$= \frac{9,52}{20,61} = 0,46$$

Keterangan :

AFR = Rasio udara dan bahan bakar

N_{u} = mol udara (mol)

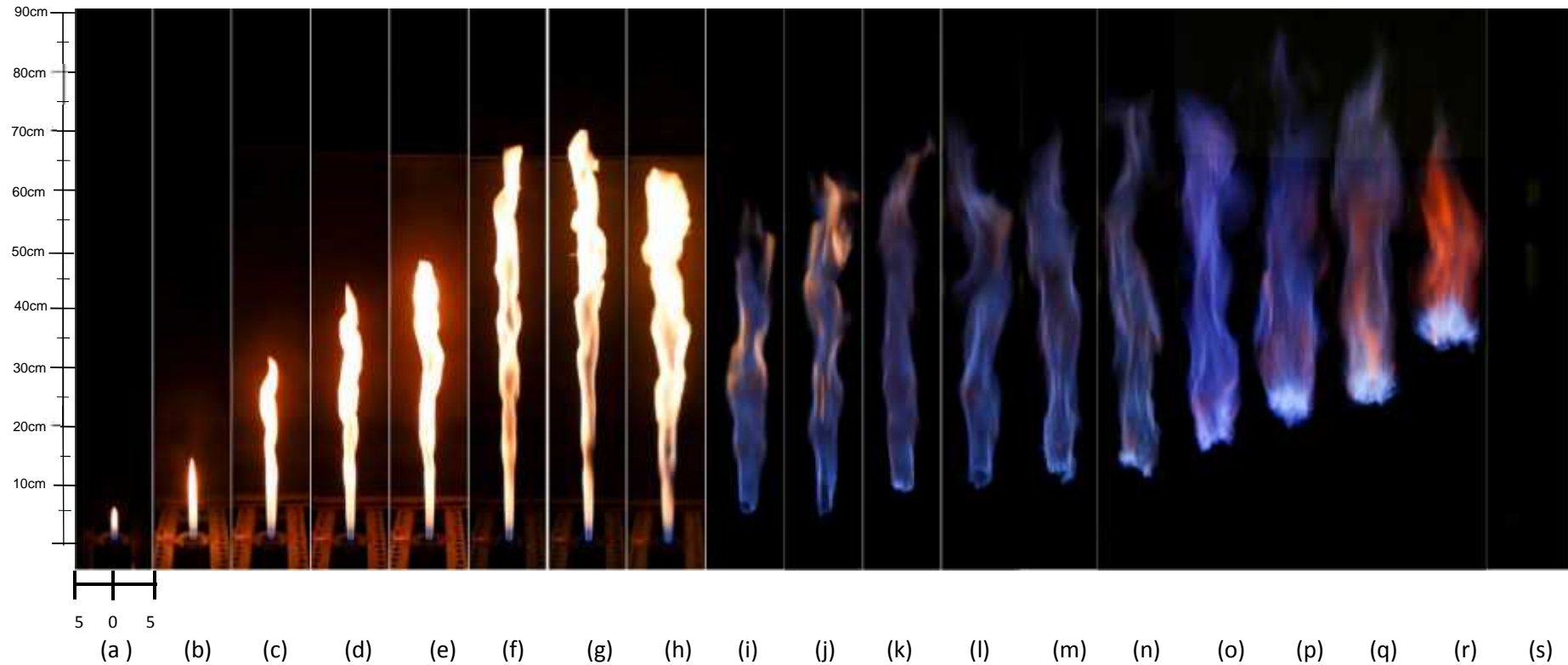
$N_{\text{D na b}}$ = mol bahan bakar (mol)

= Rasio ekuivalen

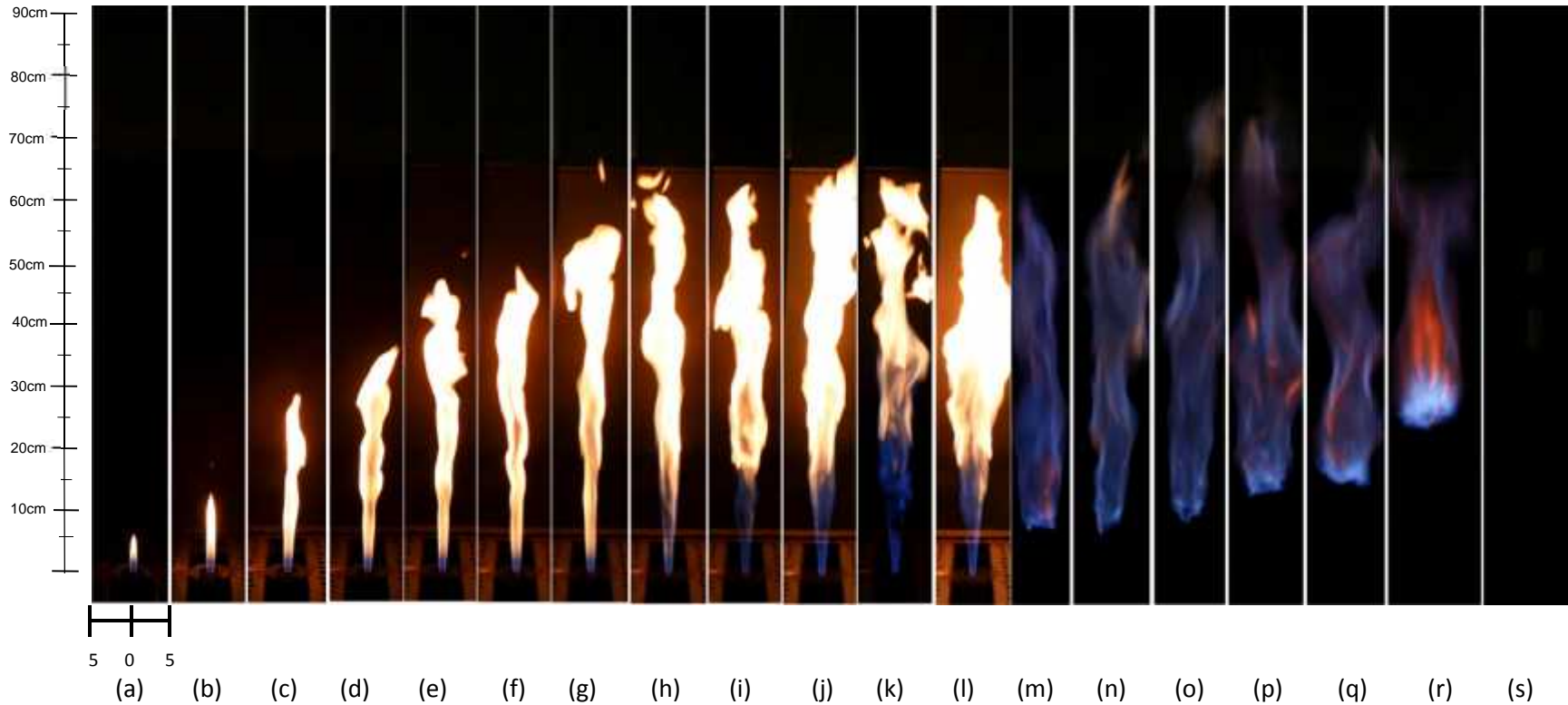
4.3 Pembahasan Data Hasil Penelitian

4.3.1 Visualisasi Api Difusi

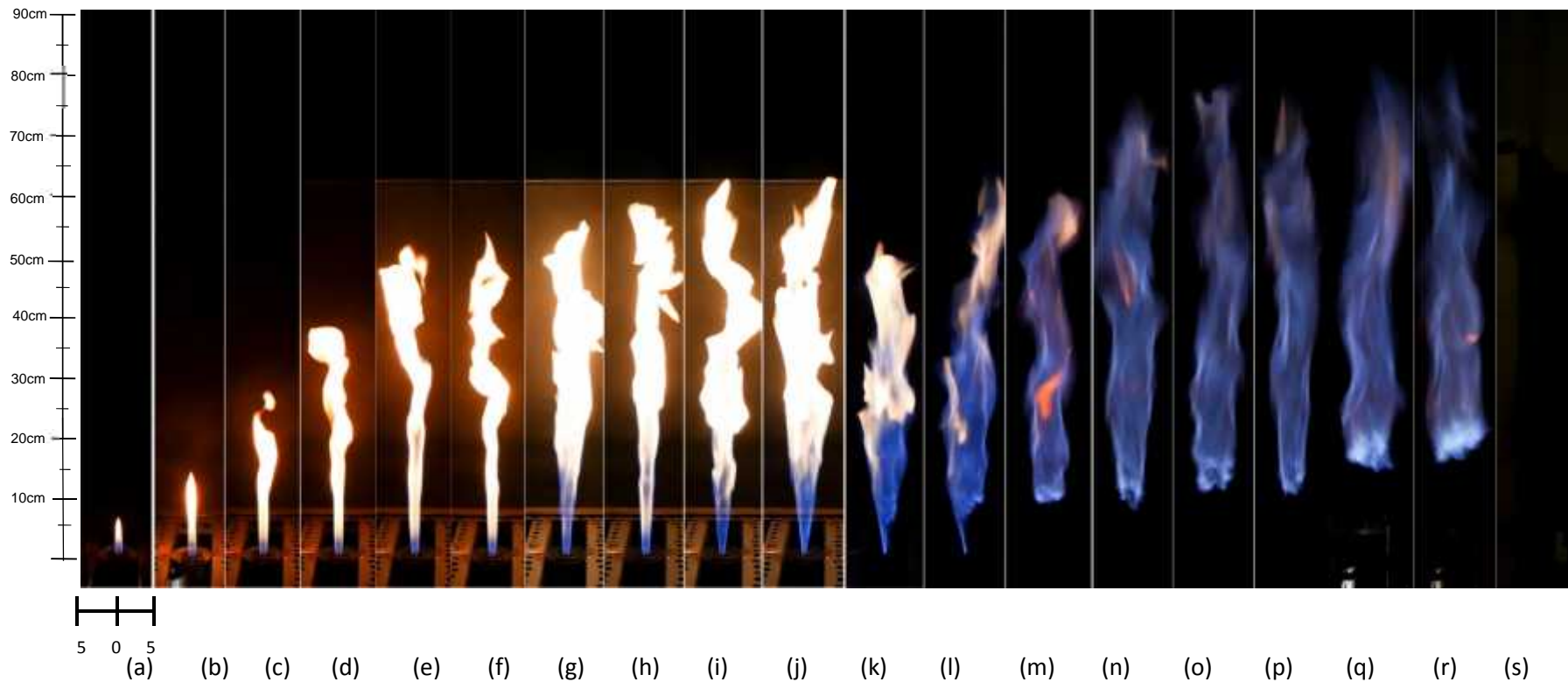
4.3.1.1 Pengaruh Variasi Jumlah Sudu *Swirl Vanes* Terhadap Visualisasi Api Difusi



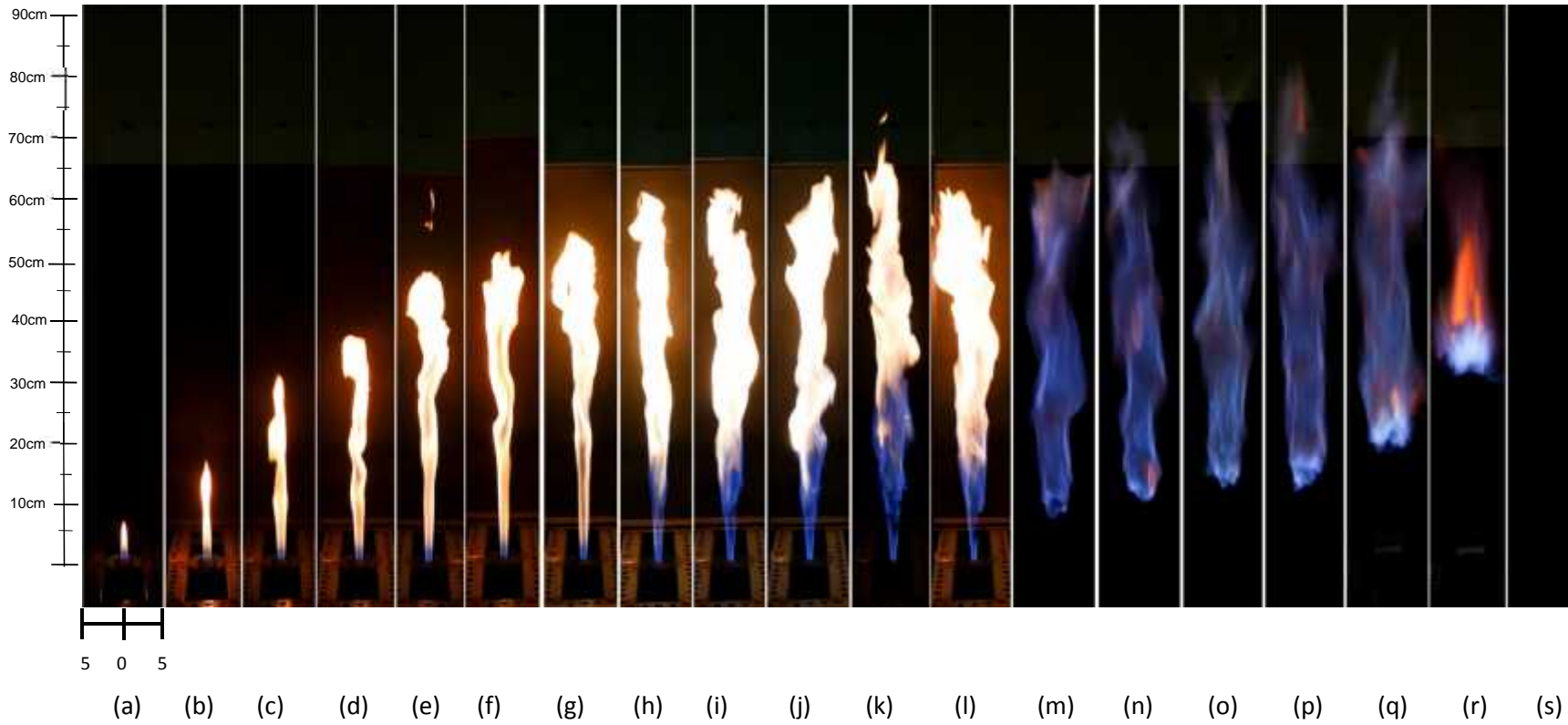
Gambar 4.1 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s; dengan kecepatan udara 0,7 m/s tanpa pemasangan *swirl vanes*



Gambar 4.2 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s *swirl vanes* sudu 4

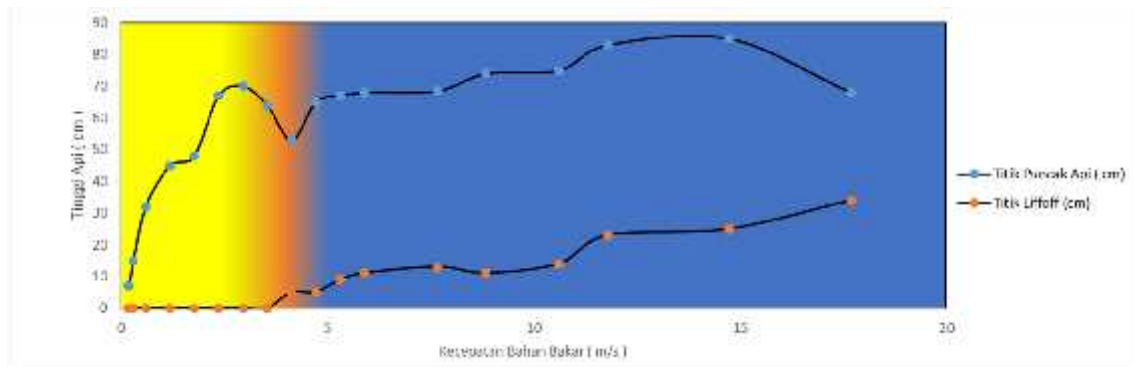


Gambar 4.3 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s *swirl vanes* sudu 6

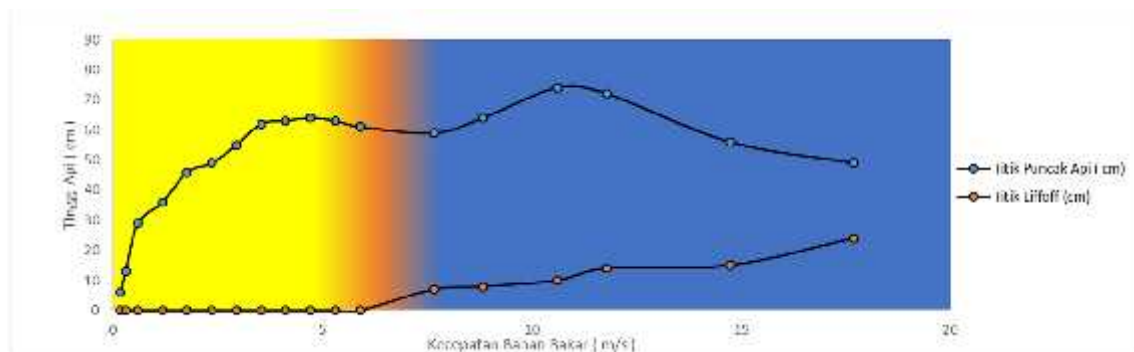


Gambar 4.4 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s *swirl vanes* sudut 8

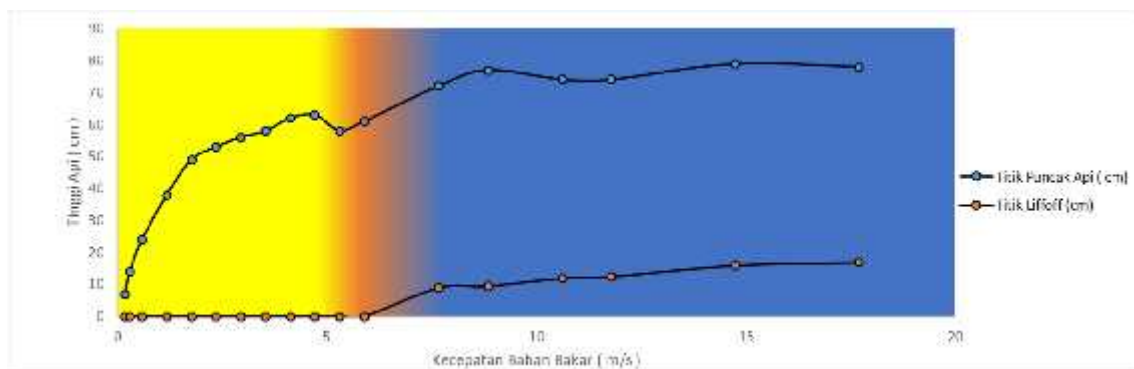
Gambar 4.1 , 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan visualisasi api dari variasi jumlah sudu *swirl vanes* dengan kecepatan udara yang sama yaitu = 0.7 m.s^{-1} dan kecepatan bahan bakar yang divariasikan yaitu $0,18 \text{ m.s}^{-1}$, $0,29 \text{ m.s}^{-1}$, $0,59 \text{ m.s}^{-1}$, $1,18 \text{ m.s}^{-1}$, $1,77 \text{ m.s}^{-1}$, $2,36 \text{ m.s}^{-1}$, $2,95 \text{ m.s}^{-1}$, $3,54 \text{ m.s}^{-1}$, $4,13 \text{ m.s}^{-1}$, $4,72 \text{ m.s}^{-1}$, $5,31 \text{ m.s}^{-1}$, $5,9 \text{ m.s}^{-1}$, $7,67 \text{ m.s}^{-1}$, $8,85 \text{ m.s}^{-1}$, $10,62 \text{ m.s}^{-1}$, $11,8 \text{ m.s}^{-1}$, $14,74 \text{ m.s}^{-1}$, $17,69 \text{ m.s}^{-1}$, $19,46 \text{ m.s}^{-1}$. Dari keseluruhan gambar dapat dilihat bahwa kecenderungan tinggi api difusi akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah sudu pada *swirl vanes*. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya hambatan pada aliran udara aksial yang akan menyebabkan arah udara dibelokkan ke arah radial. Semakin banyaknya hambatan yang diberikan juga akan menyebabkan aliran menjadi lebih turbulen, hal itu akan dikarenakan adanya zona resirkulasi yang terbentuk akibat *vortex* yang diciptakan oleh aliran udara. *Vortex* merupakan aliran udara yang bergerak cepat mengelilingi pusatnya yang menyebabkan aliran menjadi turbulen. Hal inilah yang kemudian akan meningkatkan pencampuran bahan bakar dan udara. Pencampuran bahan bakar dan udara yang semakin baik dapat dilihat dari perubahan warna api dari kuning menjadi biru. Dapat dilihat pada gambar 4.1 , 4.2 , 4.3 , 4.4 bagian H , penggunaan *swirl* akan mengakibatkan pencampuran reaktan menjadi lebih baik, terlihat perbedaan yang cukup signifikan dimana semakin banyak jumlah *swirl* maka luasan api berwarna biru semakin besar.



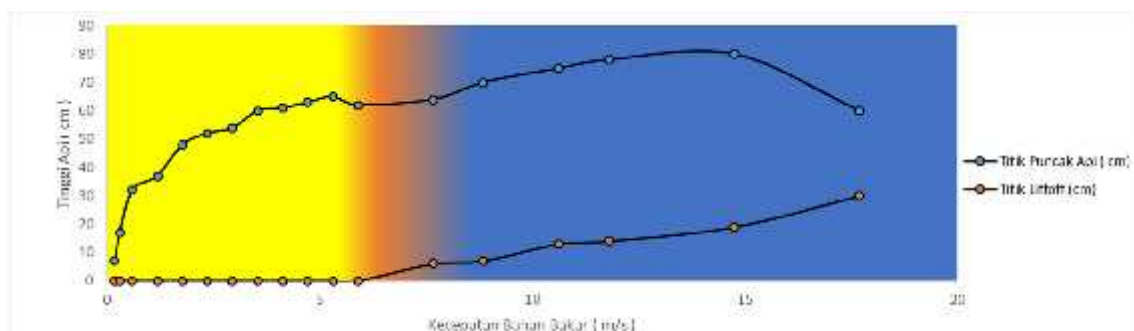
(a)



(b)



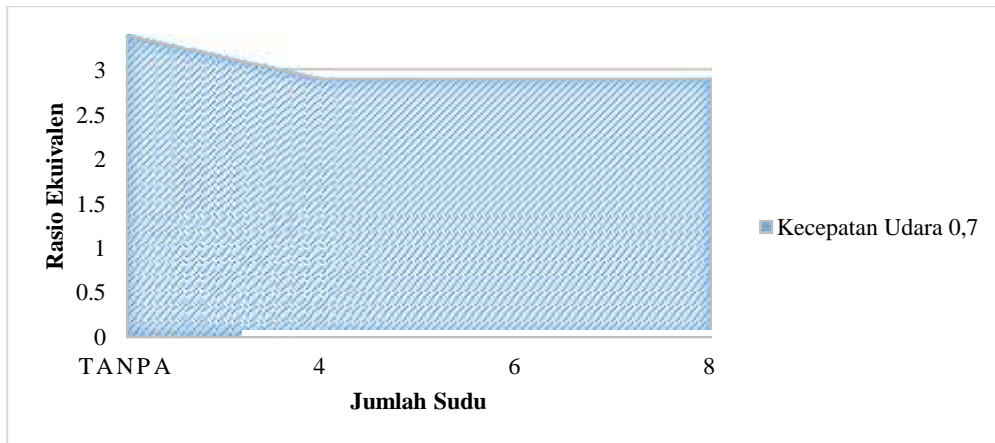
(c)



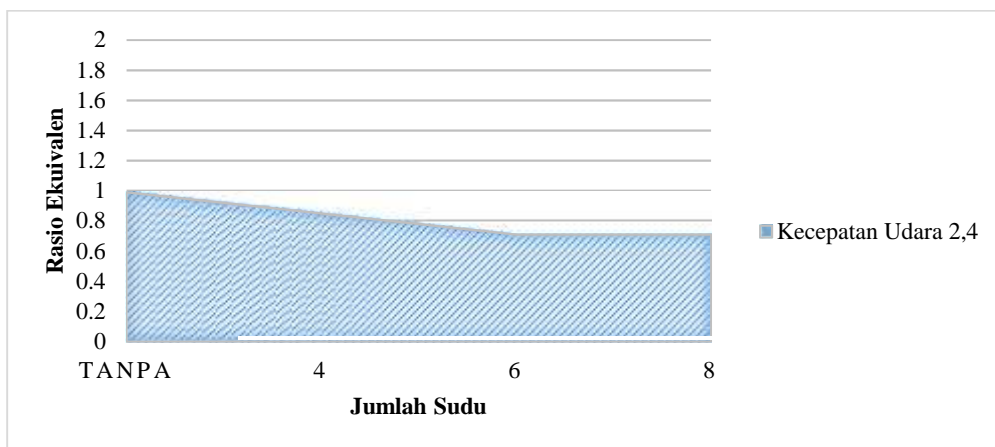
(d)

Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tinggi Api Difusi terhadap Kecepatan Bahan Bakar dengan Variasi Swirl Vanes (a) Tanpa ;(b) 4 ;(c) 6; (d) 8

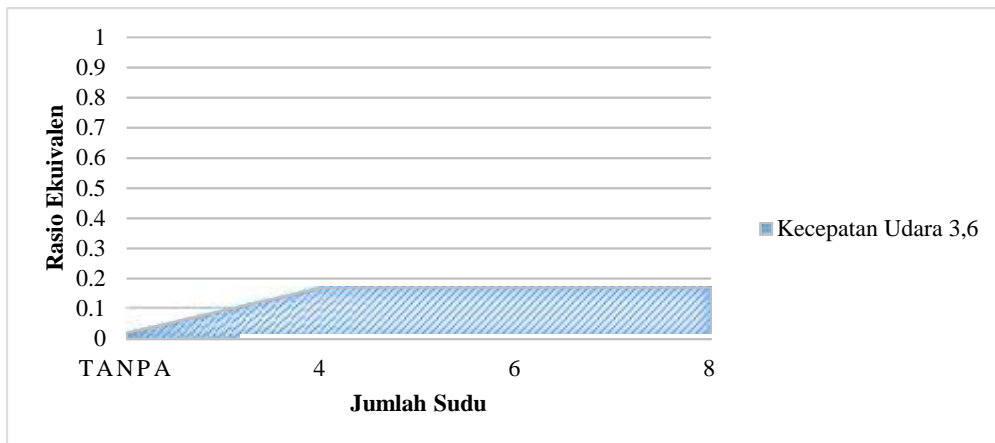
Pada gambar 4.5 terdapat dua series yang menunjukkan titik puncak api dan titik *liftoff*. Dapat dilihat pada gambar 4.5 yaitu tanpa pemasangan *swirl vanes* ketinggian maksimum dari api laminar 70 cm pada kecepatan bahan bakar 2,36 m/s dan mengalami *blowoff* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Pada *swirl* sudu 4 ketinggian maksimum dari api laminar 64 cm pada kecepatan bahan bakar 4,72 m/s dan mengalami *blowoff* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Pada *swirl* sudu 6 ketinggian maksimum dari api laminar 63 cm pada kecepatan bahan bakar 4,72 m/s dan mengalami *blowoff* pada kecepatan 19,46 m/s. Pada *swirl* sudu 8 ketinggian maksimum dari api laminar 65 cm pada kecepatan bahan bakar 5,31 m/s dengan dan mengalami *blowoff* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Dari keempat grafik ketinggian api tersebut kecenderungan tinggi api akan menurun apabila aliran udara diberi hambatan, dan semakin besar hambatan yang diberikan maka kecenderungan tinggi api akan semakin menurun juga. Warna kuning, oren, dan biru pada grafik mewakili zona perubahan api difusi laminar menuju api difusi turbulen. Dimana zona dibagi menjadi zona api difusi laminar, zona transisi, dan zona api difusi turbulen. Series kedua menunjukkan fenomena *liftoff* pada api difusi. Dimana terdapat perbedaan titik *liftoff* antara tanpa pemasangan *swirl vanes* dengan yang menggunakan *swirl vanes*. Pada tanpa pemasangan *swirl vanes* dapat dilihat kondisi *liftoff* terjadi lebih cepat pada kecepatan bahan bakar 4,72 m/s sementara api difusi dengan pemasangan sudu *swirl* 4, 6, dan 8 baru mengalami *liftoff* pada kecepatan 7,67 m/s. Hal tersebut terjadi karena pada tanpa pemasangan *swirl vanes* tidak ada hambatan yang mengganggu aliran udara dan udara langsung bergerak kearah aksial sehingga kecepatan dari reaktan lebih cepat daripada kecepatan nyala api.



a



b

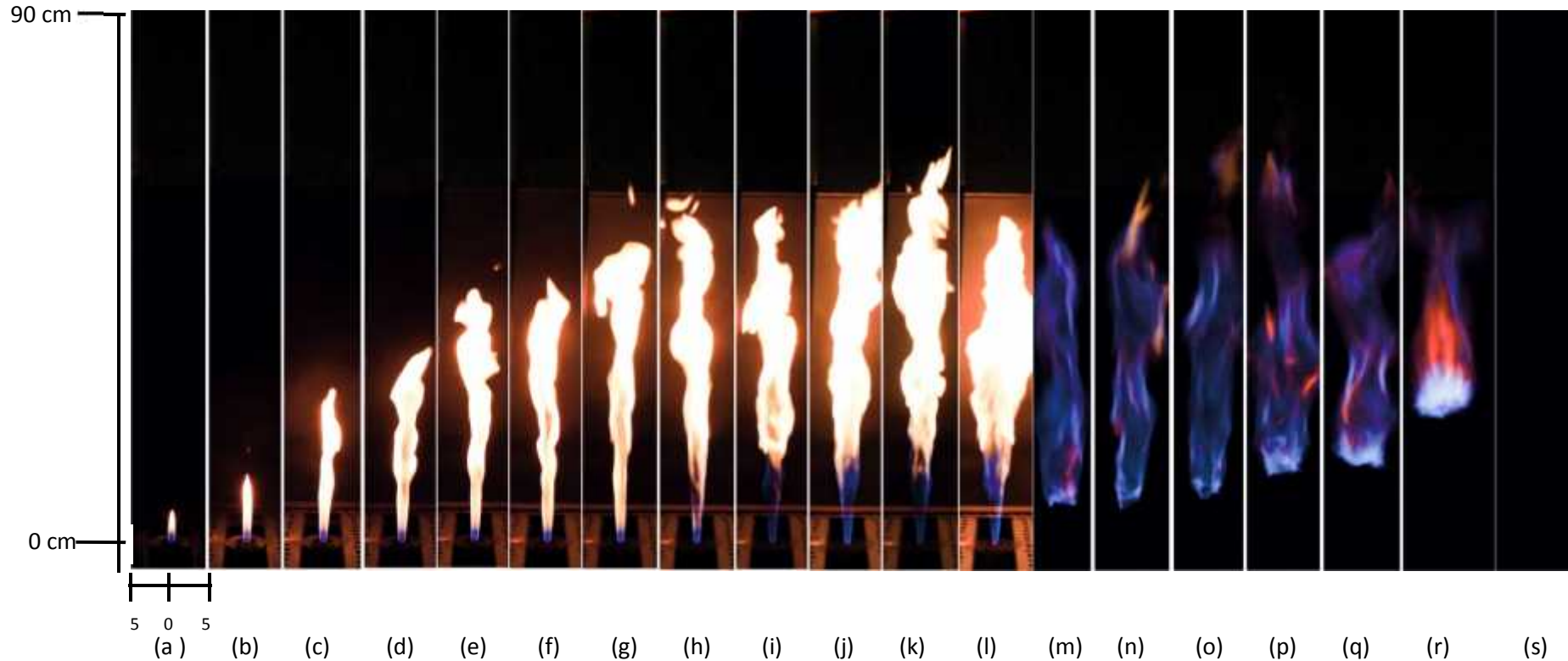


c

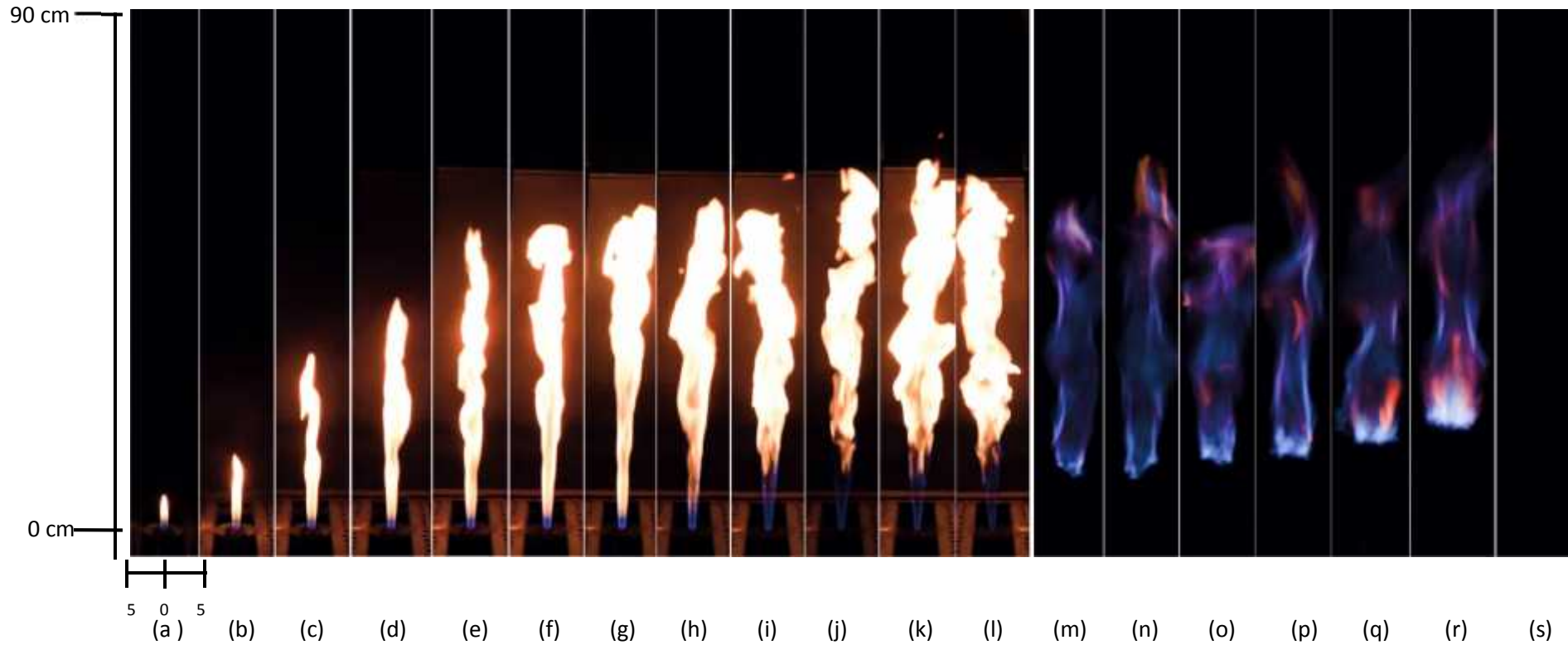
Gambar 4.6 Grafik Stabilitas Nyala Api pada kecepatan bahan bakar 0,18 m/s - 23,59 m/s dan kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 2,4 m/s; (c) 3,6 m/s terhadap Jumlah Sudu *Swirl*

Gambar 4.6 merupakan grafik stabilitas nyala api difusi terhadap variasi jumlah *swirl vanes* pada kecepatan bahan bakar bakar 0,18 m/s; 0,29 m/s; 0,59 m/s; 1,18 ms; 1,77 m/s; 2,36 m/s; 2,95 m/s; 3,54 m/s; 4,13 m/s; 4,72 m/s; 5,31 m/s; 5,9 m/s; 7,67 m/s; 8,85 m/s; 10,62 m/s; 11,8 m/s; 14,74 m/s; 17,69 m/s; 19,46 m/s dan kecepatan udara konstan (a) 0,7 m/s ; (b) 2,4 m/s ; (c) 3,6 m/s. Pada grafik (a) dapat dilihat bahwa tingkat stabilitas nyala api tanpa pemasangan *swirl* lebih baik daripada api difusi yang menggunakan *swirl vanes* dapat dilihat pada grafik dimana api masih dapat menyala pada ekuivalen rasio $= 16,74$. Hal tersebut disebabkan aliran udara yang tetap . Pada grafik (b) dapat dilihat bahwa tingkat stabilitas nyala api tanpa pemasangan *swirl* masih lebih baik daripada api difusi yang menggunakan *swirl* namun penggunaan *swirl* sudu 4 pada kecepatan udara ini memiliki stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan *swirl* sudu 6 dan sudu 8 dimana pada grafik api masih dapat menyala pada rasio ekuivalen $= 4,04$. Hal ini dikarenakan hambatan udara yang terdapat pada *swirl* sudu 4 lebih kecil dibandingkan *swirl* sudu 6 dan 8 sehingga turbulensi udara yang dihasilkan tidak terlalu besar dan itu berdampak pada stabilitas api yang lebih baik. Pada grafik (c) dapat dilihat bahwa tingkat stabilitas nyala api penggunaan *swirl vanes* lebih baik dibandingkan dengan tanpa pemasangan *swirl vanes*. Hal itu dapat dilihat pada grafik dimana api akan mengalami *blowoff* pada rasio ekuivalen $= 0,90$ sementara tanpa pemasangan *swirl vanes* api sudah mati pada ekuivalen $= 0,18$ hal ini disebabkan penggunaan *swirl vanes* dapat meningkatkan pencampuran bahan bakar lebih baik sehingga stabilitas api yang dihasilkan oleh pemasangan *swirl* jauh lebih baik.

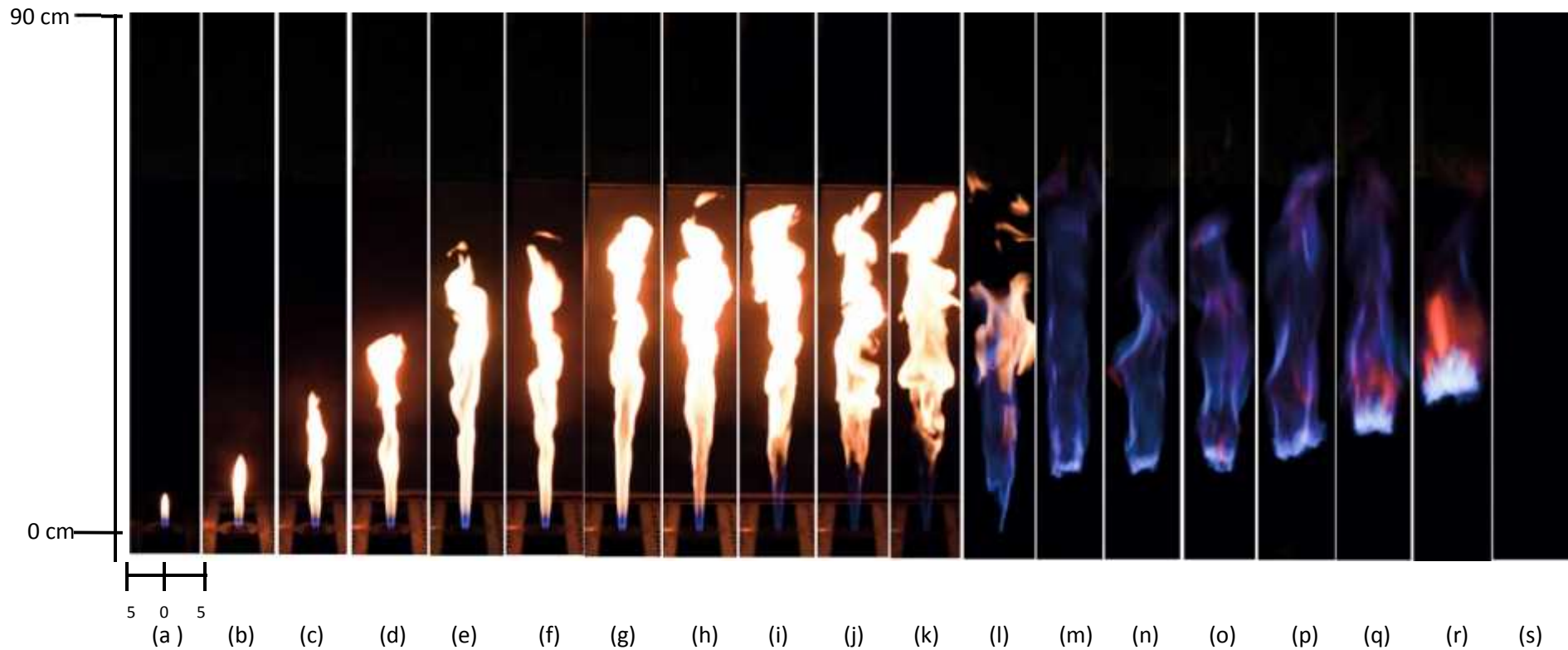
4.3.1.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Bahan Bakar terhadap Visualisasi Api Difusi



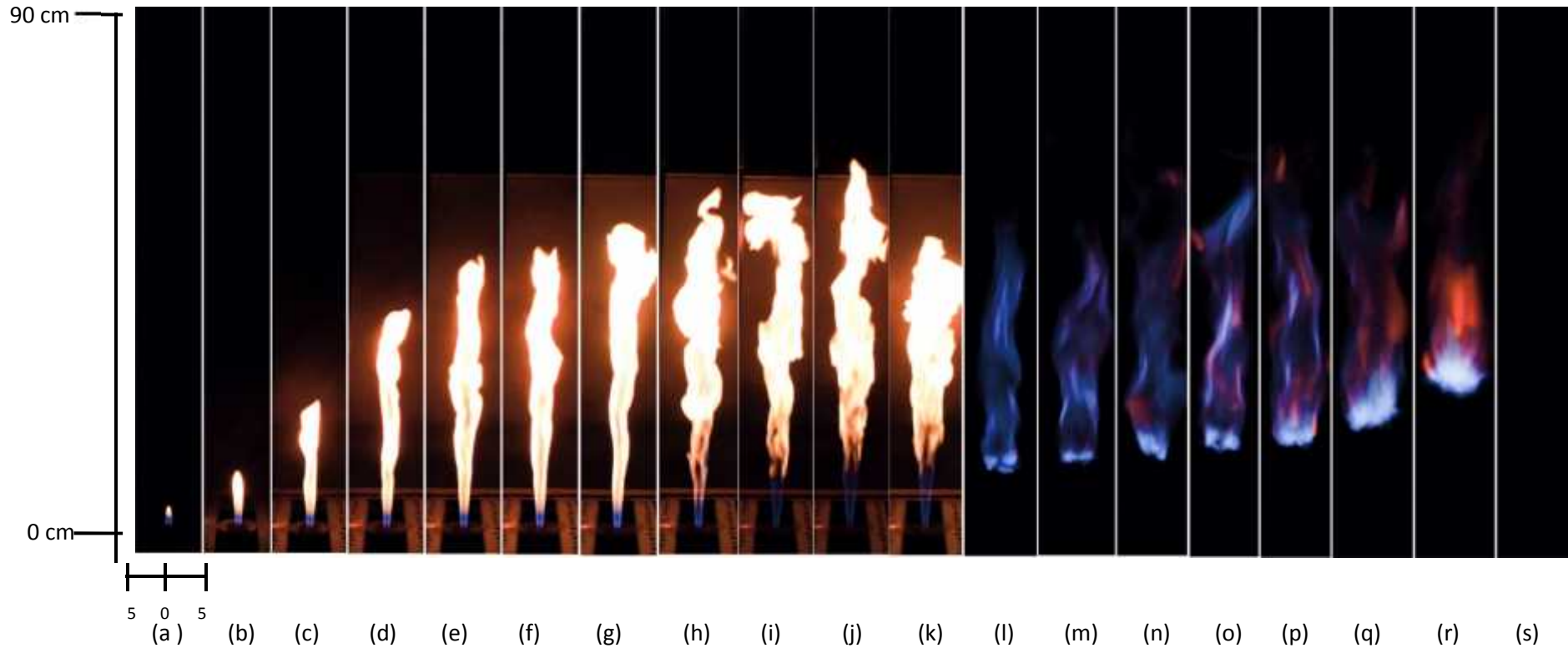
Gambar 4.7 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 m/s; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s *swirl vanes* sudu 4



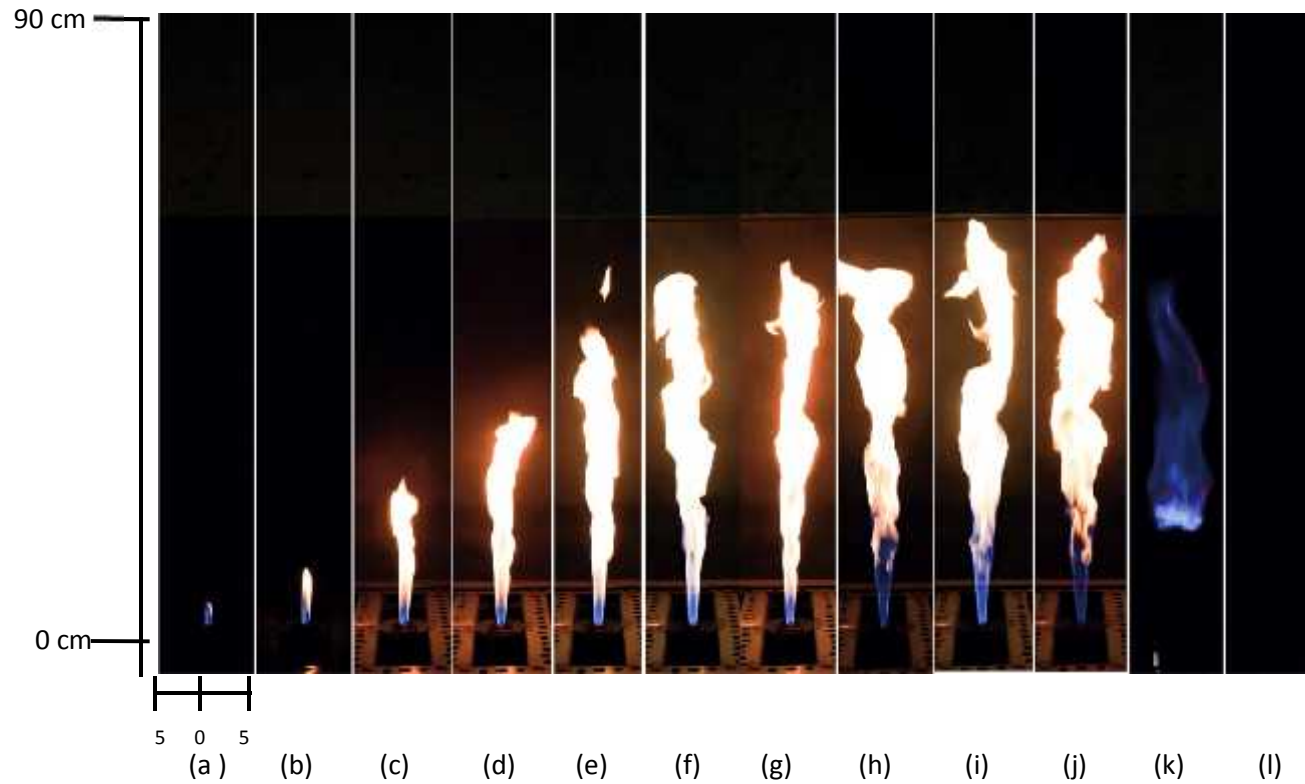
Gambar 4.8 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s *swirl vanes* sudut 4



Gambar 4.9 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,8 m/s *swirl vanes* sudut 4



Gambar 4.10 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 2,4 m/s *swirl vanes* sudu 4



Gambar 4.11 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; dengan kecepatan udara 3,6 m/s *swirl vanes* sudut 4

Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 Dari keseluruhan gambar dapat dilihat bahwa kecenderungan tinggi api difusi akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar lalu kemudian menurun. Pada awal penambahan kecepatan bahan bakar dapat dilihat bentuk api masih laminar dimana tidak terlihat banyak olakan, kemudian semakin tinggi kecepatan bahan bakar, ketinggian api semakin bertambah dan mulai muncul olakan-olakan dimana api mulai mengalami turbulensi. Hal ini dapat ditunjukkan pada grafik hubungan kecepatan aliran dan ketinggian api, dimana kondisi tersebut terdapat pada daerah transisi yaitu daerah dimana ketidakstabilan pada beberapa bagian api, dan ketidakstabilan akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kecepatan bahan bakar yang kemudian membuat api menjadi turbulen, sehingga ketinggian api semakin menurun.

Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar maka nilai rasio ekuivalen juga akan semakin meningkat dimana nilai mol bahan bakar akan bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara. Nilai mol bahan bakar yang meningkat akan membuat nilai AFR aktual semakin menurun.

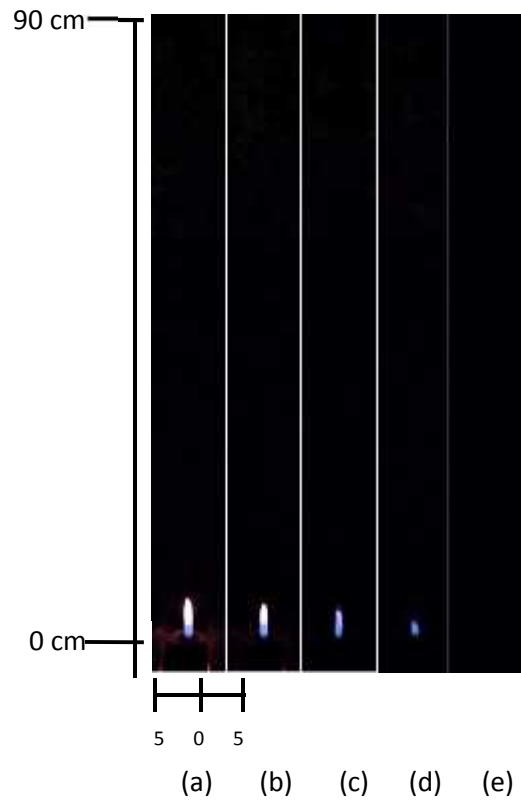
$$\Phi = \frac{(A)_{s} h}{(A)_{a}}$$

Dari gambar 4.7 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari rendah ke tinggi yakni (a) = 0,14; (b) = 0,23; (c) = 0,46; (d) = 0,92; (e) = 1,39; (f) = 1,85; (g) = 2,31; (h) = 2,77; (i) = 3,23; (j) = 3,70; (k) = 4,16; (l) = 4,62; (m) = 6,01; (n) = 6,93; (o) = 8,32; (p) = 9,24; (q) = 11,55; (r) = 13,86; dan (s) = 15,25. Dari keseluruhan gambar dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya rasio ekuivalen maka ketinggian api akan semakin tinggi kemudian tinggi api akan mengalami penurunan pada saat api bertransisi dari api laminar menjadi turbulen dimana seiring bertambahnya rasio ekuivalen api laminar akan semakin menurun sedangkan api turbulen akan semakin tinggi lalu tinggi api akan mengalami peningkatan kembali setelah api sudah menjadi sepenuhnya turbulen yang ditandai dengan api yang mempunyai *liftoff*. Perubahan api dari laminar menjadi turbulen dikarenakan semakin besarnya olakan yang dihasilkan karena kecepatan bahan bakar yang terus bertambah. Tinggi *liftoff* juga akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya rasio ekuivalen dikarenakan kecepatan reaktan yang terus bertambah sehingga nyala api terangkat dan menjauhi mulut burner.

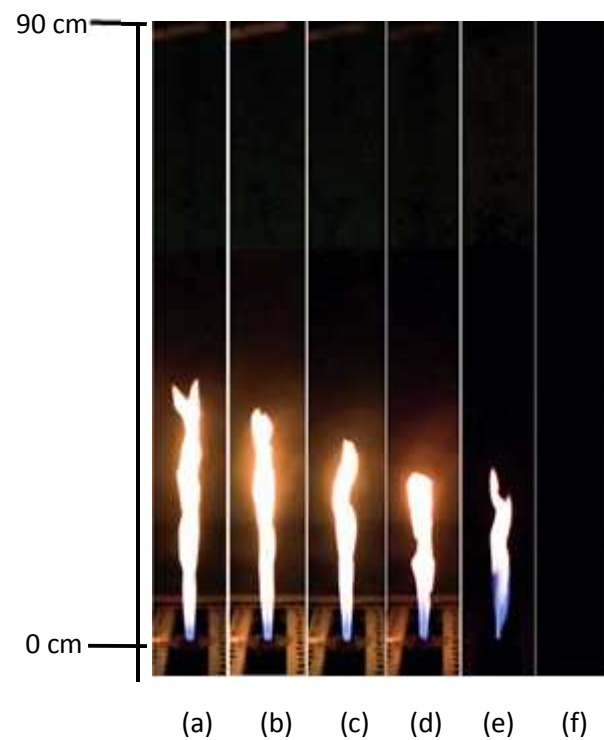
Dari gambar 4.7 dapat dilihat ketinggian api laminar paling tinggi berada pada $\phi = 3,70$ dan ketinggian api turbulen yang paling tinggi berada pada $\phi = 8,32$. Pada saat sebelum api akan mengalami *blowout*, api cenderung mengalami ketidakstabilan dikarenakan besarnya olakan yang dihasilkan oleh aliran reaktan. Olakan yang terlalu besar membuat turbulensi yang dihasilkan juga sangat besar dan mempengaruhi tinggi api dimana ketinggian api akan menurun. Hal ini yang menyebabkan pada $\phi = 1,75$ tinggi api turbulen mencapai titik maksimum.

Dari keseluruhan gambar yakni gambar 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 dan 4.17 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan udara tetap menjadi lebih besar maka kecenderungan tinggi api juga akan semakin menurun. Hal ini disebabkan dengan semakin bertambahnya udara maka olakan yang dihasilkan juga semakin besar. Olakan yang dihasilkan oleh udara akan membentuk zona resirkulasi dimana keluaran bahan bakar yang awalnya menjauhi mulut burner akan kembali mendekati mulut burner. Fenomena ini bisa terjadi akibat turbulensi yang besar akan menciptakan tekanan yang membawa bahan bakar kembali mendekati mulut burner. Seiring dengan mengganti kecepatan udara menjadi lebih besar maka nilai rasio ekuivalen pun akan mengalami penurunan. Hal ini bisa dilihat pada tabel dimana nilai rasio ekuivalen rata-rata dengan kecepatan udara tetap 3,6 m/s mempunyai nilai rasio ekuivalen rata-rata paling kecil.

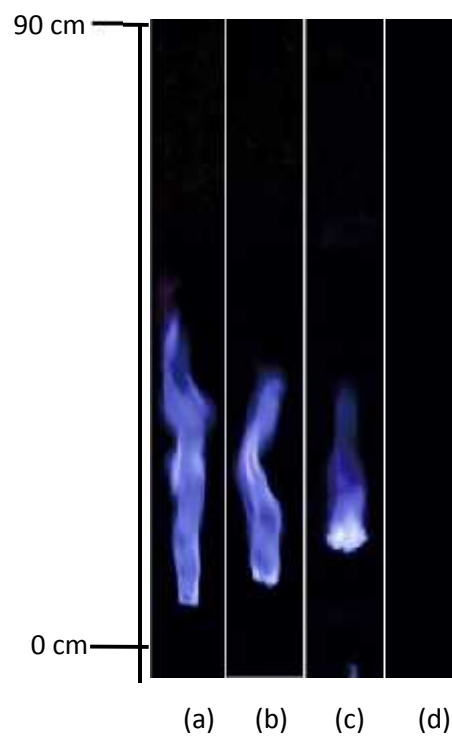
4.3.1.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Visualisasi Api Difusi



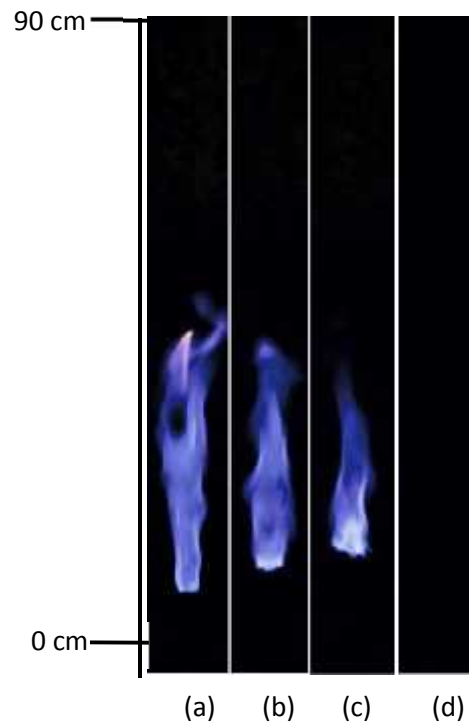
Gambar 4.12 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 ms; (e) 5,3 m/s dengan kecepatan bahan bakar 0,29 m/s tanpa dengan menggunakan *swirl* sudu 4



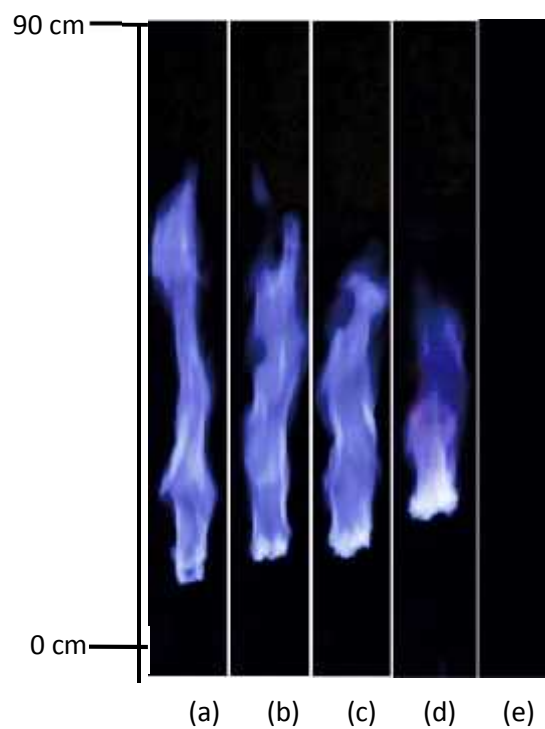
Gambar 4.13 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 ms; (e) 5,3 m/s; (f) 8,8 m.s dengan kecepatan bahan bakar 1,77 m/s dengan menggunakan *swirl* sudu 4



Gambar 4.14 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s dengan kecepatan bahan bakar 3,54 m/s dengan menggunakan *swirl* sudu 4



Gambar 4.15 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s dengan kecepatan bahan bakar 5,31 m/s dengan menggunakan *swirl* sudu 4



Gambar 4.16 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s dengan kecepatan bahan bakar 8,85 m/s dengan menggunakan *swirl* sudu 4

Gambar 4.12 , 4.13 , 4.14, 4.15 , 4.16 merupakan gambar visualisasi api difusi pada variasi kecepatan udara 0,7 m/s , 1,8 m/s , 2,4 m/s , 3,6 m/s , 5,3 m/s , 8,8 m/s dengan menggunakan jumlah *swirl* sudu 4 dan kecepatan bahan bakar yang konstan. Dari persamaan rasio ekuivalen juga akan semakin menurun dimana mol udara akan bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara.

$$\Phi = \frac{(A_{fuel}) \rho_f h}{(A_{air}) \rho_a}$$

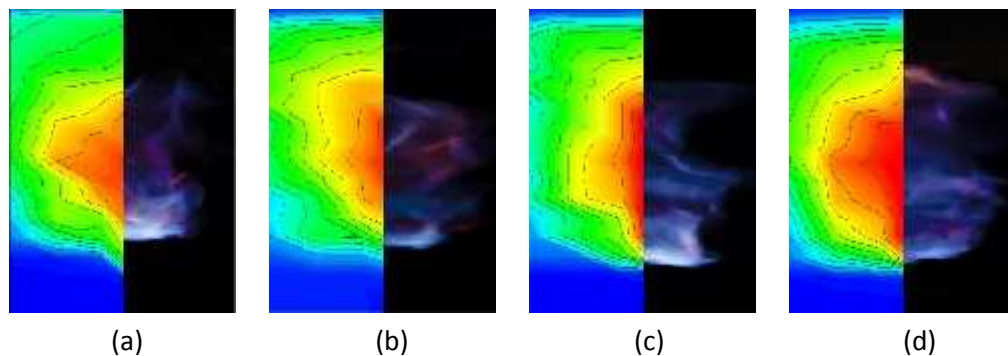
$$A = \frac{N_u}{N_D n_a b}$$

Dari gambar 4.12 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari tinggi ke rendah yakni (a) = 0,23; (b) = 0,08; (c) = 0,06; (d) = 0,04; dan (e) = 0,01. Dari data tersebut ketinggian api yang paling tinggi ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang tinggi pula yaitu = 0,23 dan api akan mengalami penurunan ketinggian dengan seiring berkurangnya nilai rasio ekuivalen. Hal ini terjadi karena nilai ekuivalen yang tinggi mempunyai nilai kecepatan udara yang rendah sehingga pencampuran antara bahan bakar dan udara belum tercampur dengan baik dan baru tercampur dengan baik dibagian atas yang dikarenakan bahan bakar yang terbawa oleh udara. Fenomena terbawanya bahan bakar oleh udara ini disebabkan oleh efek *buoyancy* dimana massa jenis bahan udara lebih tinggi dibandingkan massa jenis bahan bakar. Dimana massa jenis udara adalah 0,0012 gr/cm³ dan massa jenis metana adalah 0,000716 gr/cm³. Sedangkan nilai ekuivalen rasio yang rendah memiliki kecepatan udara yang tinggi dimana kecepatan udara yang tinggi akan membuat aliran menjadi turbulen ditandai dengan udara yang mengalami *vortex* yang akan membentuk zona resirkulasi pada pembakaran dan membuat keluaran bahan bakar yang menjauhi mulut burner akan kembali mendekati mulut burner disebabkan tekanan yang dihasilkan oleh olakan-olakan udara. Pada penambahan kecepatan udara juga menunjukkan bahwa api tidak mengalami perubahan warna dari merah menjadi biru. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi yang berlangsung hampir tidak berubah dan menghasilkan udara yang berlebih, lalu udara yang berlebih itu akan terbang ke lingkungan

Dari keseluruhan gambar yakni gambar 4.12, 4.13 4.14, 4.15 dan 4.16 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan bahan bakar konstan menjadi lebih besar maka ketinggian api juga akan semakin tinggi tetapi pada kecepatan bahan bakar 3,54 m/s

ketinggian api menurun karena pada kecepatan bahan bakar 3,54 m/s terjadi perubahan dari api laminar menjadi turbulen dimana dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar maka tinggi api laminar akan berkurang sedangkan tinggi api turbulen akan terus meningkat. Penambahan kecepatan bahan bakar tetap pada setiap percobaan ini akan membuat nilai rasio ekuivalen juga meningkat. Hal ini bisa dilihat pada tabel dimana api dengan kecepatan bahan bakar tetap 3,54 m/s mempunyai nilai rasio ekuivalen rata-rata paling besar.

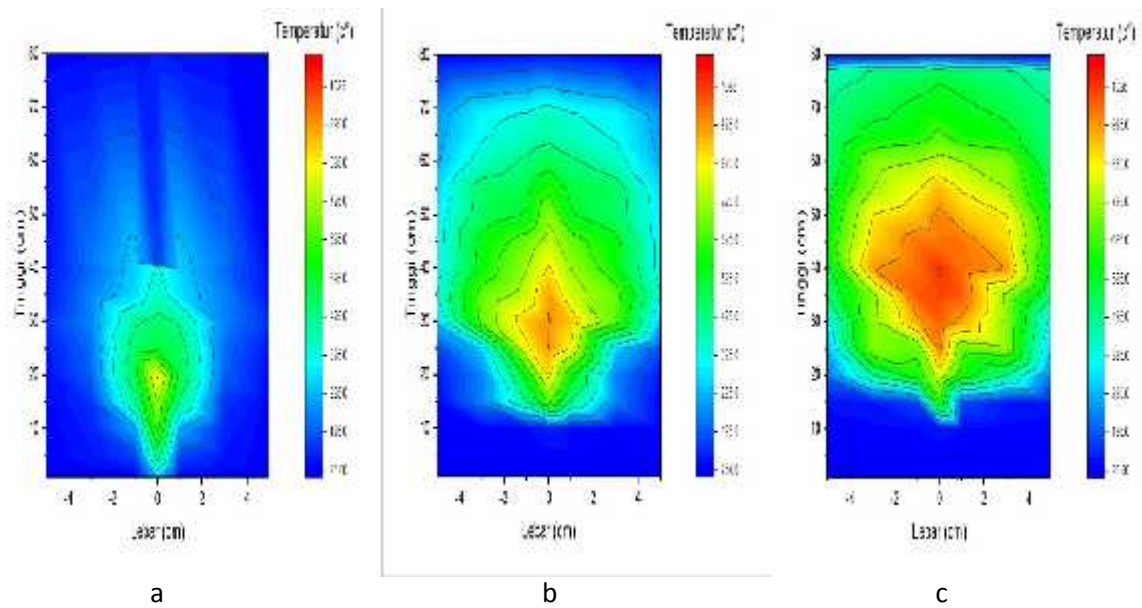
4.2.3 Kontur Distribusi Api Difusi



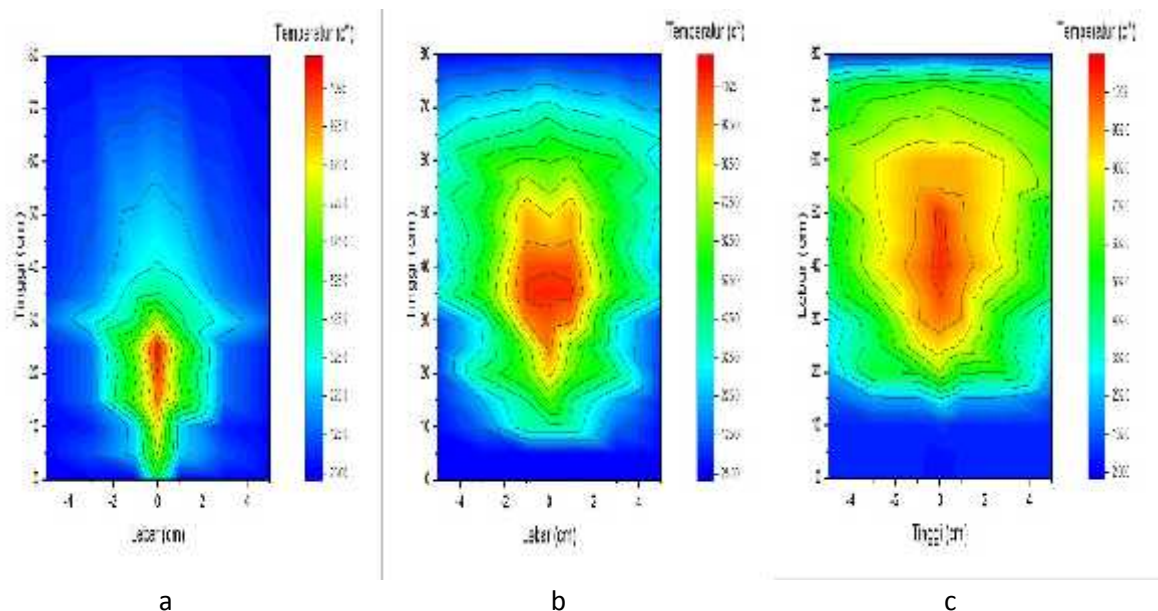
Gambar 4.17 Kontur distribusi temperatur dengan origin dan visualisasi api dengan menggunakan metode eksperimental

Pada gambar 4.17 merupakan kontur distribusi temperatur api difusi dengan menggunakan *software origin* disertai dengan gambar visualisasi yang diambil dengan menggunakan kamera. Pengambilan temperatur dilakukan dengan menggunakan sensor *thermocouple* yang terhubung dengan *datalogger* dan komputer. Data temperatur kemudian diolah dengan menggunakan *software originpro 2018*. Perbedaan warna pada kontur tersebut menandakan tingkat perbedaan temperatur disetiap warnanya. Dimana semakin tinggi temperatur dari api difusi maka warna dari kontur akan semakin memerah. Pengukuran temperatur dimulai dari 0 cm , 1 cm , 3 cm , dan 5 cm pada sumbu x. Kemudian dilanjutkan dengan jarak interval 5 cm ke arah sumbu y.

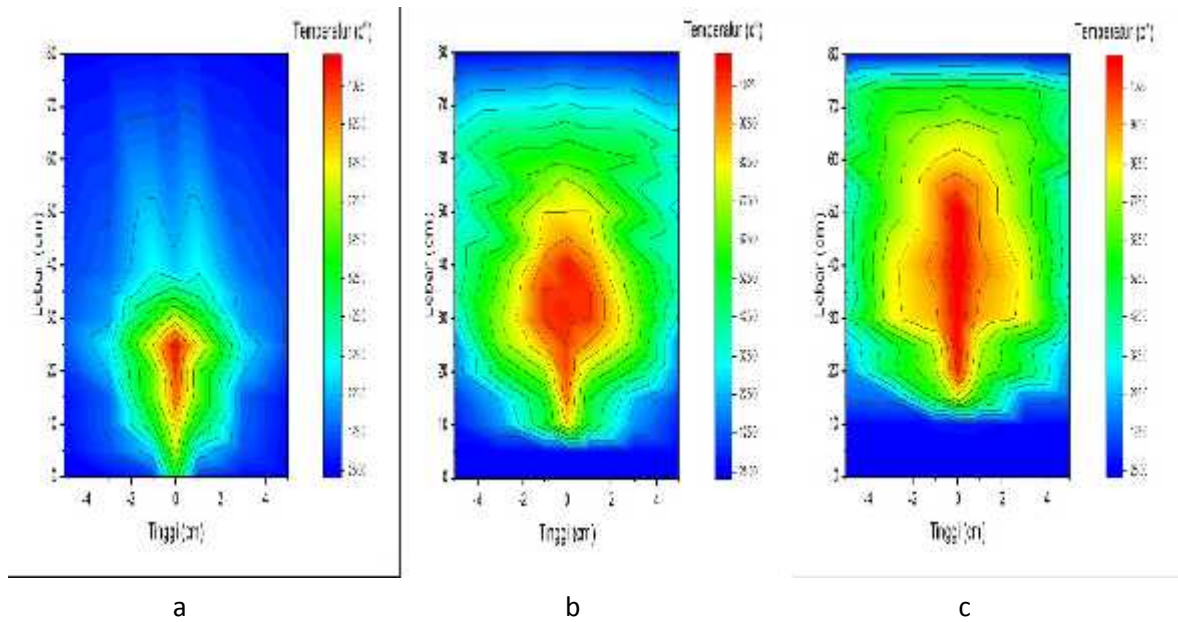
4.3.2.1 Pengaruh Variasi Jumlah Sudu *Swirl Vanes* terhadap Kontur Distribusi Temperatur Api Difusi



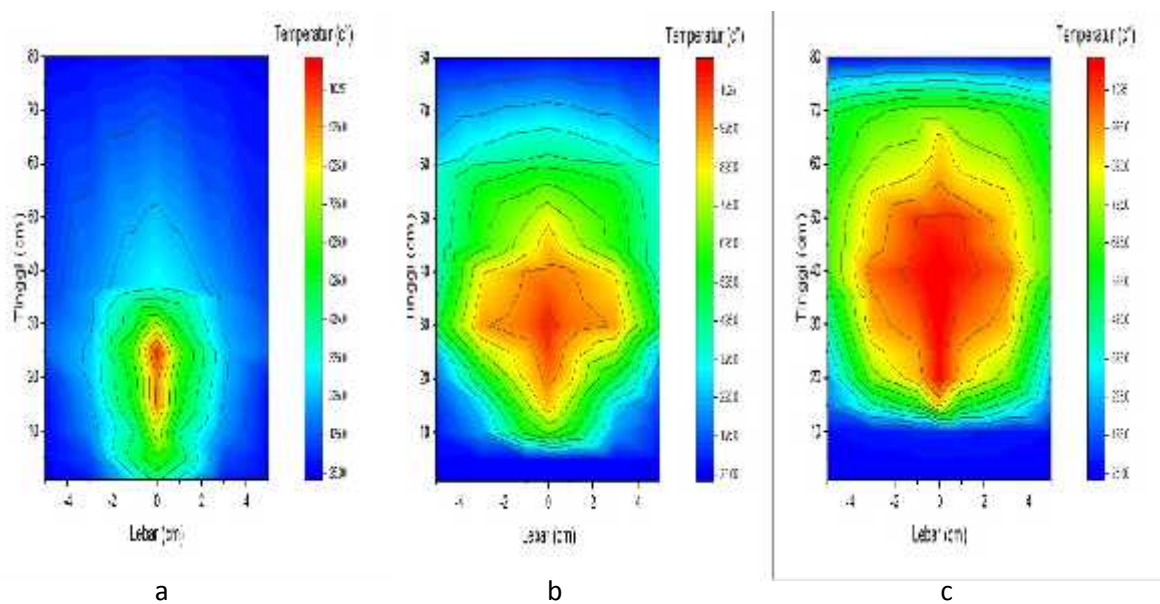
Gambar 4.18 Grafik Kontur Distribusi Temperatur pada Kecepatan Bahan Bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 dengan Kecepatan Udara 1,2 m/s dan Tanpa Pemasangan *Swirl*



Gambar 4.19 Grafik Kontur Distribusi Temperatur pada Kecepatan Bahan Bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 dengan Kecepatan Udara 1,2 m/s dengan penggunaan *swirl* sudu 4



Gambar 4.20 Grafik Kontur Distribusi Temperatur pada Kecepatan Bahan Bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 dengan Kecepatan Udara 1,2 m/s dengan penggunaan *swirl* sudu 6

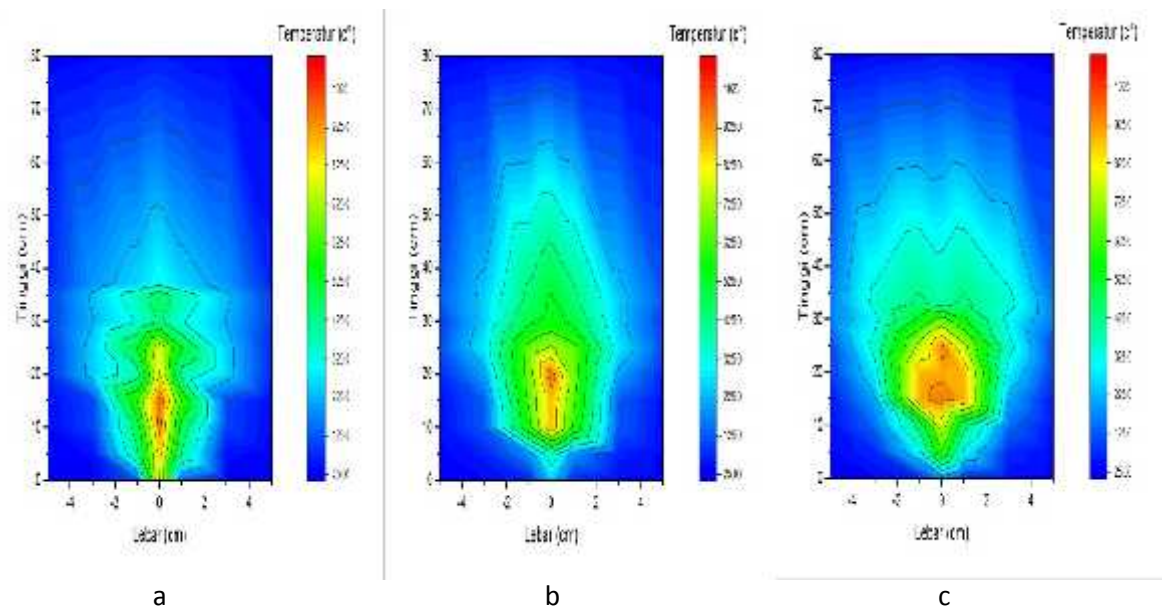


Gambar 4.21 Grafik Kontur Distribusi Temperatur pada Kecepatan Bahan Bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 dengan Kecepatan Udara 1,2 m/s dengan penggunaan *swirl* sudu 8

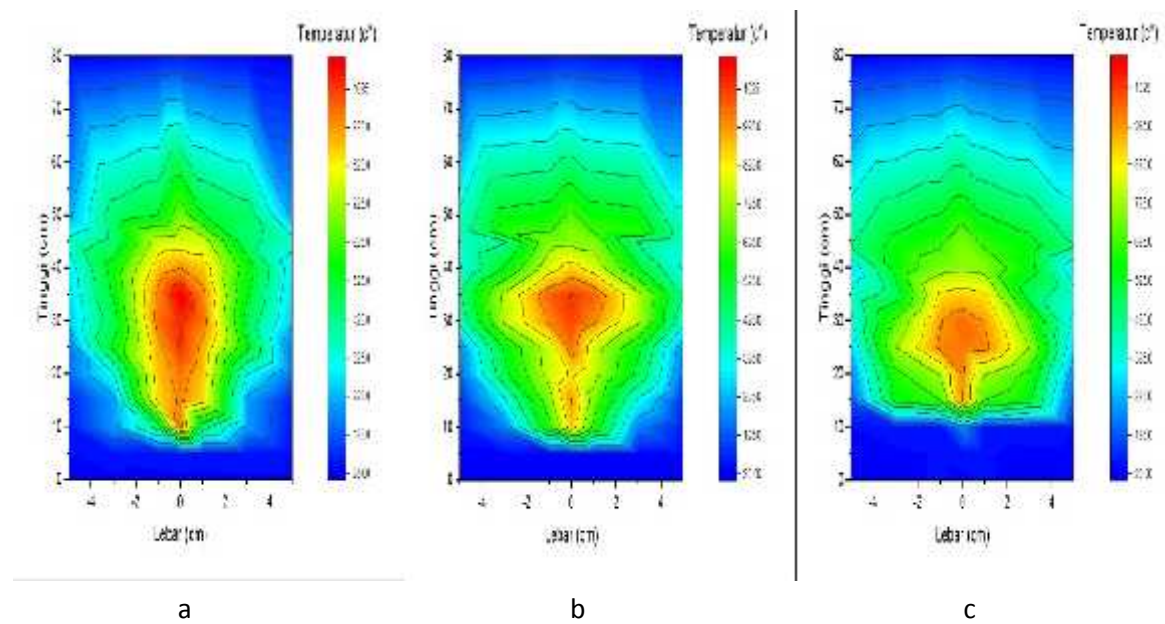
Pada gambar 4.18, 4.19, 4.20 dan 4.21 menunjukkan distribusi temperatur pada variasi jumlah sudu yang berbeda dari setiap *swirl vanes* pada kecepatan bahan bakar tertentu. Dari semua gambar terdapat kecenderungan bahwa semakin tinggi kecepatan bahan bakar maka temperatur dari api difusi akan meningkat, dapat dilihat dari gambar distribusi temperatur, warna merah yang menunjukkan temperatur paling tinggi memiliki luasan yang lebih luas pada kecepatan bahan bakar yang paling besar dibanding kecepatan bahan bakar kecil. Hal ini dikarenakan penambahan kecepatan bahan bakar akan mengubah aliran yang awalnya laminar menjadi turbulen, ketika terjadi turbulensi maka akan semakin banyak atom-atom bahan bakar dan udara yang teroksidasi sehingga menghasilkan api dengan temperatur yang lebih tinggi.

Dari setiap gambar ditunjukkan bahwa penggunaan sudut *swirl vanes* sangat mempengaruhi distribusi temperatur api difusi. Pada gambar 4.18 yaitu tanpa pemasangan *swirl vanes* memiliki luasan warna merah yang paling sedikit jika dibandingkan dengan *swirl* sudu 4, 6, dan 8 yang secara berurutan memiliki luasan warna merah yang terus bertambah. Bertambahnya luasan warna merah pada setiap bertambahnya pemasangan sudut *swirl vanes* ini menunjukkan bahwa temperatur terdistribusi secara merata. Pada gambar 4.13 dengan pemasangan *swirl* sudu 8 menunjukkan distribusi temperatur yang paling merata dibandingkan tanpa *swirl*, *swirl* sudu 4 dan *swirl* 6. Hal ini disebabkan dengan pemasangan *swirl* sudu 8 akan menyebabkan aliran menjadi lebih turbulen dimana *swirl* sudu 8 memiliki hambatan yang lebih besar yang membuat udara semakin terhambat dan mengarah lebih ke arah radial lalu terciptanya olakan-olakan yang besar yang akhirnya membuat aliran menjadi lebih turbulen. Turbulen yang diciptakan oleh penggunaan *swirl* sudu 8 akan membentuk zona resirkulasi dimana meningkatkan temperatur yang dilepas oleh api difusi karena pencampuran antara bahan bakar dan udara menjadi semakin baik. Fenomena ini sesuai dengan *transport phenomena* dimana dengan penggunaan *swirl* sudu 8 membuat atom-atom udara dan bahan bakar yang keluar lintasan dan akhirnya bertribukan akan semakin banyak sehingga temperatur akan meningkat.

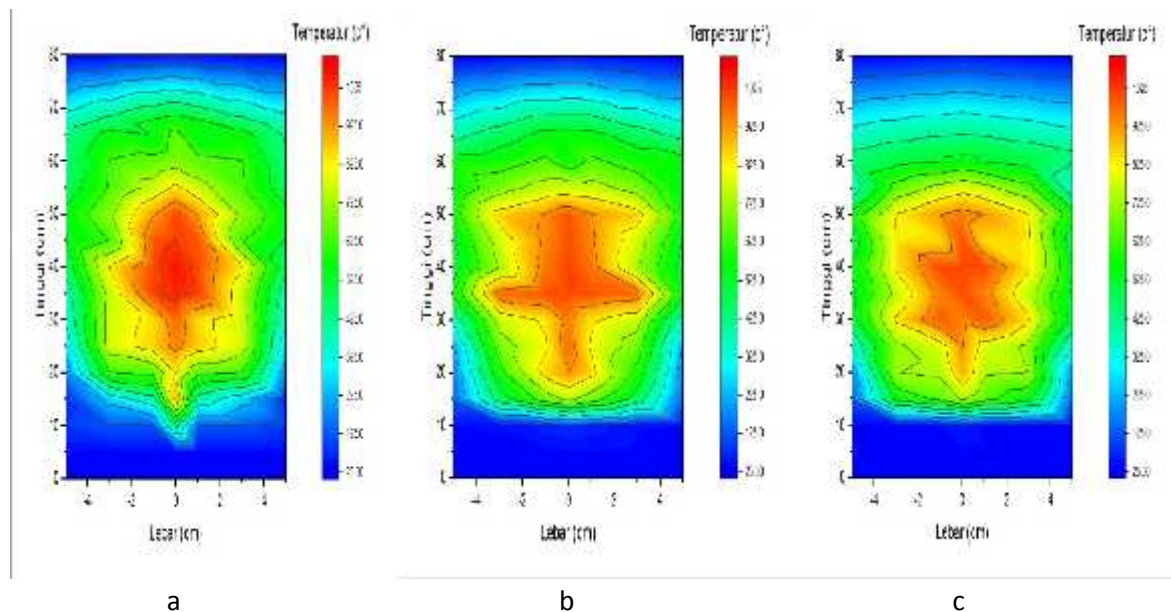
4.3.2.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara terhadap Kontur Distribusi Api Difusi



Gambar 4.22 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 dengan Kecepatan Bahan Bakar 1,77 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4



Gambar 4.23 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 dengan Kecepatan Bahan Bakar 5,31 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4



Gambar 4.24 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 dengan Kecepatan Bahan Bakar 8,85 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4

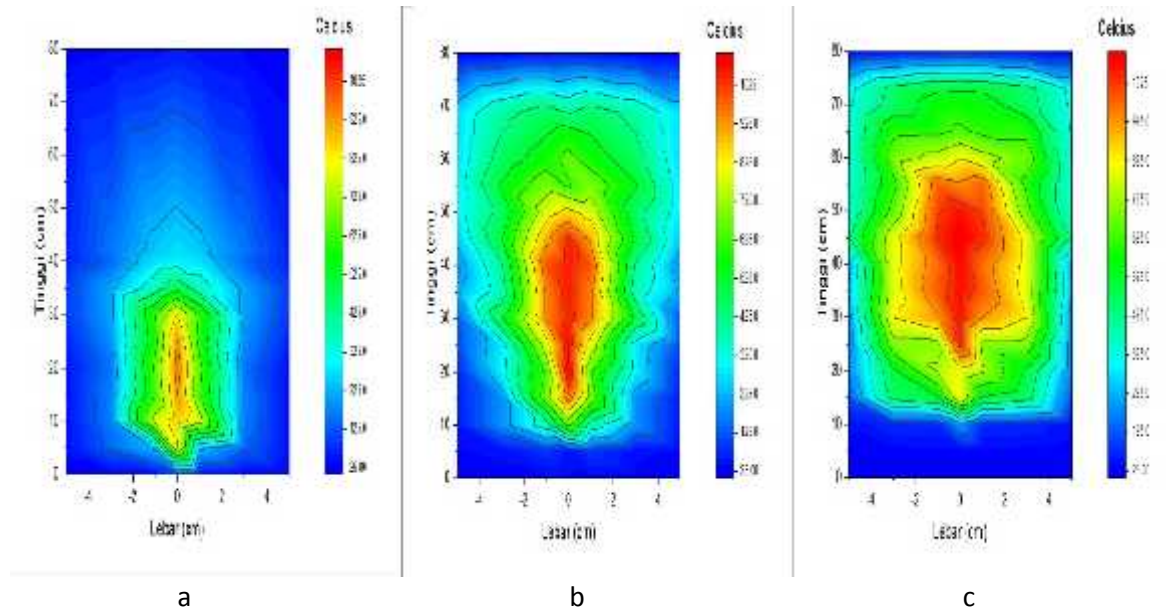
Pada gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 menunjukkan distribusi temperatur dengan variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 m/s dengan kecepatan bahan bakar konstan dan pemasangan *swirl* sudu 4. Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan udara maka nilai rasio ekuivalen juga akan semakin menurun dimana nilai mol udara akan bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara.

Dari gambar 4.22 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari tinggi ke rendah yakni (a) = 1,38; (b) = 0,53; dan (c) = 0,40. Dari data tersebut distribusi temperatur api difusi yang paling tinggi dan paling merata ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang tinggi pula yaitu = 0,1,38 dan distribusi api difusi akan mengalami penurunan dengan seiring berkurangnya nilai rasio ekuivalen. Hal ini disebabkan nilai rasio ekuivalen yang tinggi mempunyai nilai kecepatan udara yang rendah sehingga udara akan sepenuhnya beroksidasi dengan bahan bakar sedangkan nilai rasio ekuivalen yang rendah memiliki udara berlebih yang tidak seluruhnya beroksidasi dengan bahan bakar. Udara yang tidak teroksidasi ini akan membuat pembebanan pada distribusi temperatur semakin besar dimana temperatur pada pembakaran akan terserap oleh udara yang tidak teroksidasi dan akhirnya terbuang ke lingkungan.

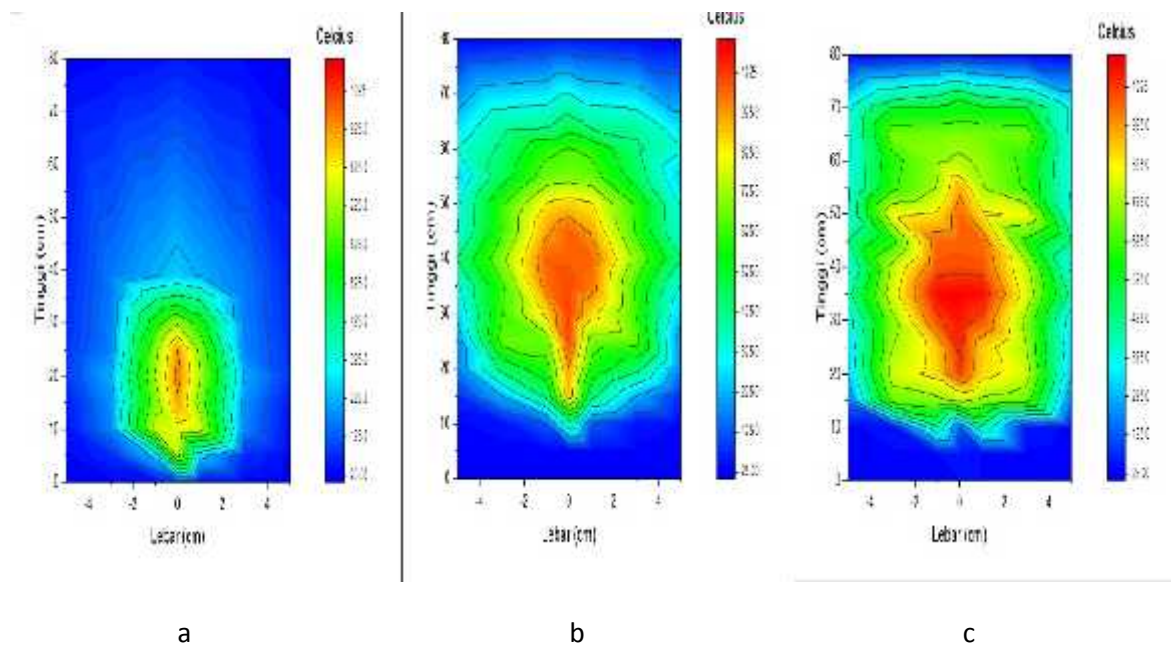
Dari keseluruhan gambar yakni gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 juga dapat diambil kesimpulan bahwa peningkatan kecepatan udara akan menurunkan nilai ekuivalen rasio.

Dimana penurunan berakibat pada distribusi temperatur. Semakin rendah nilai equivalen rasio maka akan menyebabkan kecenderungan menurunnya distribusi temperatur. Dapat dilihat semakin besar kecepatan udaranya maka luasan daerah merah (temperatur tinggi) akan semakin berkurang.

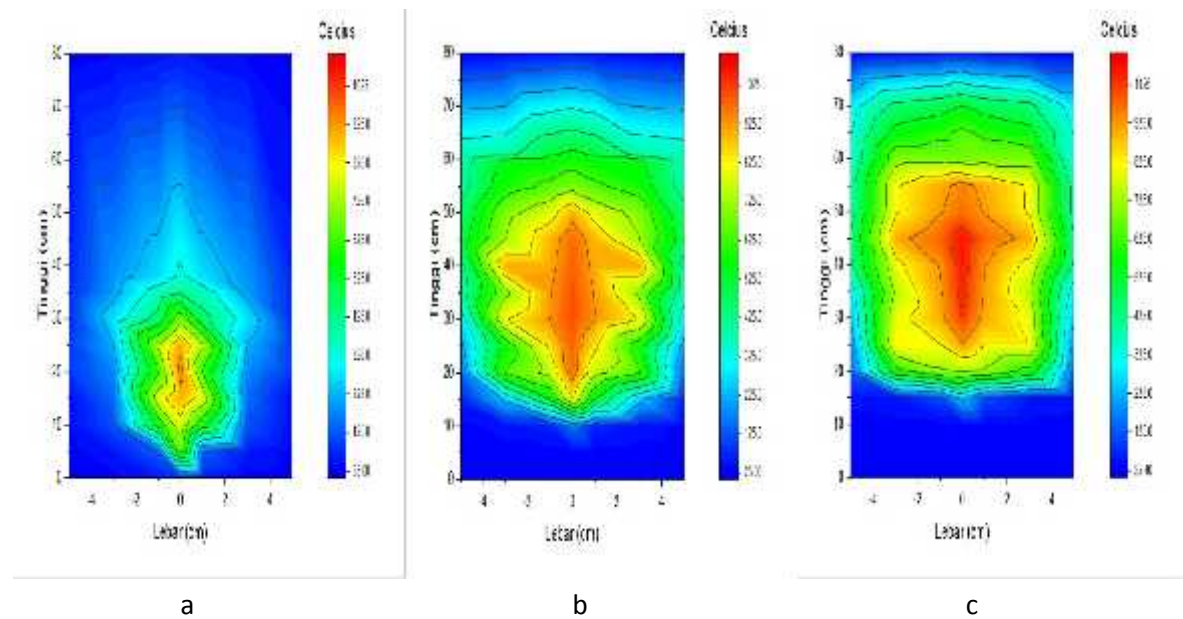
4.3.2.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Bahan Bakar terhadap Kontur Distribusi Api Difusi



Gambar 4.25 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,80 dengan Kecepatan udara 0,7 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4



Gambar 4.26 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,80 dengan Kecepatan udara 1,8 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4



Gambar 4.27 Grafik Kontur Distribusi pada Kecepatan Bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,80 dengan Kecepatan udara 2,4 m/s dan Pemasangan *Swirl* sudu 4

Pada gambar 4.25, 4.26 dan 4.27 menunjukkan distribusi temperatur dengan variasi kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67m/s (c) 11,80 m/s dengan kecepatan udara konstan pada pemasangan *swirl* sudu 4. Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar maka nilai rasio ekuivalen juga akan semakin meningkat dimana nilai mol bahan bakar akan bertambah seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar.

Dari gambar 4.25 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari rendah ke tinggi yakni (a) = 0,92; (b) = 6,01; dan (c) = 9,24. Dari data tersebut distribusi temperatur api difusi yang paling tinggi dan paling merata ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang tinggi pula yaitu = 9,24 dan distribusi api difusi akan mengalami penurunan dengan seiring berkurangnya nilai rasio ekuivalen. Hal ini disebabkan nilai rasio ekuivalen yang tinggi mempunyai nilai kecepatan bahan bakar yang tinggi sehingga udara akan sepenuhnya beroksidasi dengan bahan bakar.

Dari keseluruhan gambar yakni gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan bahan bakar konstan menjadi lebih besar maka rasio ekuivalen juga akan semakin bertambah dimana distribusi temperatur api difusi juga akan semakin tinggi dan merata. Adapun hal ini disebabkan karena adanya kecepatan aliran bahan bakar yang bertambah sehingga mengakibatkan terjadinya turbulensi. Keadaan turbulensi mengakibatkan atom-atom udara dan bahan bakar bertubrukan dengan kecepatan tinggi dimana keadaan ini dapat meningkatkan temperatur api dan hal ini sesuai dengan prinsip

transport phenomena. Seiring dengan meningkatnya kecepatan bahan bakar dapat dilihat pada temperatur bagian tengah api selalu memiliki temperatur yang lebih tinggi. Nilai kecenderungan kenaikan ekuivalen rasio dengan mengganti kecepatan bahan konstan dapat dilihat pada tabel.