

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian peran gliserol terhadap kecepatan api *premixed* laminar pada minyak jarak ini didapatkan beberapa hasil yaitu :

- Hubungan kecepatan api *premixed* terhadap *equivalence ratio* pada minyak jarak mentah
- Hubungan kecepatan api *premixed* terhadap *equivalence ratio* pada minyak jarak non gliserol
- Visualisasi nyala api pada minyak jarak mentah dan minyak jarak non gliserol

4.2 Analisis Data

4.2.1 Perhitungan *equivalence ratio*

Penelitian ini membandingkan antara kecepatan api *premixed* dengan *equivalence ratio* maka hal pertama yang harus diketahui adalah *Air Fuel Ratio* (AFR) stokiometri dan *Air Fuel Ratio* (AFR) aktual sehingga dapat diperoleh *equivalence ratio*. Data yang diperlukan adalah rumus kimia minyak jarak crude maupun minyak jarak non gliserol yaitu

- Rumus kimia minyak jarak crude 100 mg

$$0,000234 \text{ C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2 + 0,000135 \text{ C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2 + 0,00265 \text{ C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2 + 0,05638 \text{ C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 + 0,000261 \text{ C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2 + 0,092277 \text{ C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2 + 0,139779 \text{ C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2 + 0,005418 \text{ C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2 + 0,027378 \text{ C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2 + 0,000513 \text{ C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2 + 0,10868 \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + 8,000885(\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2) \rightarrow 5,57407\text{CO}_2 + 5,8290\text{H}_2\text{O} + 30,08332\text{N}_2$$

$$\begin{aligned} \text{Massa molekul udara} &= \text{mol udara} (\text{n}_{\text{oksigen}} \cdot \text{Mr}_{\text{oksigen}} + 3,76 \text{ n}_{\text{nitrogen}} \cdot \text{Mr}_{\text{nitrogen}}) \\ &= 8,000885 (2 \cdot 16 + 3,76 \cdot 14) \\ &= 1098,361529 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AFR_{\text{stokio}} &= \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \\ &= \frac{1098,361529}{100} \\ &= 10,98361 \end{aligned}$$

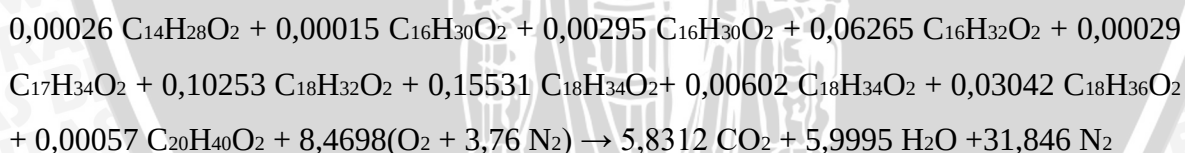
$$AFR_{\text{aktual}} = \frac{Q_{\text{udara}} \times \rho_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{bahan bakar}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\frac{1}{m} \times 1.21}{0.319} \\
 &= 3,793 \\
 \Phi &= \frac{AFR_{stokio}}{AFR_{aktual}} \\
 &= \frac{10,98361}{3,793} \\
 &= 2,896
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Data *Equivalence ratio* Minyak Jarak Mentah

No	Bukaan udara (liter/min)	AFR aktual	AFR stoikiometri	equivalence ratio (Φ)
1	1	3,793		2,896
2	1,5	5,690		1,931
3	2	7,586		1,448
4	2,5	9,483		1,158
5	3	11,379	10,98537734	0,965
6	3,5	13,276		0,827
7	4	15,172		0,724
8	4,5	17,069		0,644

- Rumus kimia minyak jarak non gliserol 100 mg



$$\begin{aligned}
 \text{Massa molekul udara} &= \text{mol udara} (n_{\text{oksigen}} \cdot \text{Mr}_{\text{oksigen}} + 3,76 n_{\text{nitrogen}} \cdot \text{Mr}_{\text{nitrogen}}) \\
 &= 8,000885 (2 \cdot 16 + 3,76 \cdot 14) \\
 &= 1098,361529 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AFR_{stokio} &= \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \\
 &= \frac{1162,730026}{100} \\
 &= 11,73002
 \end{aligned}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{Q_{\text{udara}} \times \rho_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{bahan bakar}}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1 \times 1.21}{0,319} \\
 &= 3,048 \\
 \Phi &= \frac{AFR_{stokio}}{AFR_{aktual}} \\
 &= \frac{11,73002}{3,048} \\
 &= 3,816
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Data *Equivalence ratio* Minyak Jarak Non Gliserol

No	Bukaan udara (liter/min)	AFR aktual	AFR stoikiometri	<i>equivalence ratio</i> (Φ)
1	1	3,048	11,62916557	3,816
2	1,5	4,572		2,544
3	2	6,096		1,908
4	2,5	7,620		1,526
5	3	9,144		1,272
6	3,5	10,668		1,090

Dari contoh perhitungan dengan debit udara 1 liter/menit diatas maka didapatkan *equivalence ratio* untuk minyak jarak mentah yaitu : 0,0644; 0,724; 0,827; 0,965; 1,158; 1,448; 1,931; 2,896 dan untuk minyak jarak non gliserol yaitu: 1,090; 1,272; 1,526; 1,908; 2,504; 3,816.

4.2.2 Perhitungan Kecepatan Api Laminer (S_L)

Setelah didapatkan *equivalence ratio* di atas maka langkah selanjutnya adalah menentukan kecepatan alir reaktan (V_u) dan kecepatan api laminer (S_L). Sebelumnya telah dilakukan pengujian untuk mendapatkan massa alir serta massa jenis reaktan yang didapatkan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{\text{bahan bakar}} = 0,319 \text{ gram/min}$$

$$\rho_{\text{bahan bakar}} = 3500 \text{ gram/m}^3$$

Dan luas penampang dari burner adalah:

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \cdot r^2 \\
 &= 3,14 \cdot (4,2 \text{ mm})^2 \\
 &= 55,3896 \text{ mm}^2 = 5,3896 \times 10^{-5} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

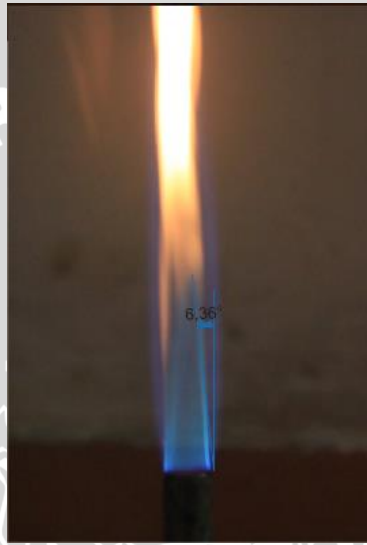
- Kecepatan api laminar minyak jarak mentah

Perhitungan kecepatan alir reaktan sebagai berikut:

$$V_u = \frac{(\dot{m}/\rho_{uap}) + (Q_{udara})}{A_{burner}}$$

$$V_u = \frac{(0,319 \text{ g/min} / 3500 \text{ g/m}^3) + (10^{-3})}{5,3896 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V_u = 19,69941753 \text{ m/min}$$



Gambar 4.1 Sudut api laminar minyak jarak crude *equivalence ratio* 2,896

Setelah melakukan penelitian hubungan *equivalence ratio* dan kecepatan api premiks laminar minyak jarak mentah telah didapatkan sudut θ pada *equivalence ratio* 2,896 sebesar $6,36^\circ$ maka perhitungan kecepatan api laminernya menjadi:

$$S_L = V_u \times \sin \theta \times \frac{100}{60}$$

$$S_L = 19,69941753 \text{ m/min} \times \sin 6,36^\circ \times \frac{100}{60}$$

$$S_L = 3,637009039 \text{ cm/sec}$$

Tabel 4.3 Data Kecepatan Api Laminer pada Minyak Jarak Mentah

<i>Equivalence ratio (Φ)</i>	θ	$\sin \theta$	V_U (m/min)	S_L (cm/sec)
0,644	14,63	0,252576015	82,88817498	34,89260821
0,724	12,09	0,209447904	73,86120963	25,78345928
0,827	11,41	0,197828427	64,83424428	21,37676093
0,965	7,51	0,13069923	55,80727893	12,15661397
1,158	7,73	0,134505045	46,78031358	10,48698028
1,448	8,13	0,141419588	37,75334823	8,89843824
1,931	7,43	0,129314817	28,72638288	6,191244894
2,896	6,36	0,110775124	19,69941753	3,637009039

- Kecepatan api laminer minyak jarak non gliserol

Perhitungan kecepatan alir reaktan sebagai berikut:

$$V_u = \frac{(\dot{m}/\rho_{uap}) + (Q_{udara})}{A_{burner}}$$

$$V_u = \frac{(0,397 \text{ g/min} / 6500 \text{ g/m}^3) + (10^{-3})}{5,3896 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V_U = 19,15660924 \text{ m/min}$$

Setelah melakukan penelitian hubungan *equivalence ratio* dan kecepatan api laminer minyak jarak non gliserol telah didapatkan sudut θ pada *equivalence ratio* 3,816 sebesar $6,7^\circ$ maka perhitungan kecepatan api laminernya menjadi:

Gambar 4.2 Sudut api laminer minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 3,816

$$S_L = V_u \times \sin \theta \times \frac{100}{60}$$

$$S_L = 19,15660924 \text{ m/min} \times \sin 6,7^\circ \times \frac{100 \text{ cm}}{60 \text{ sec}}$$

$$S_L = 3,7250262 \text{ cm/sec}$$

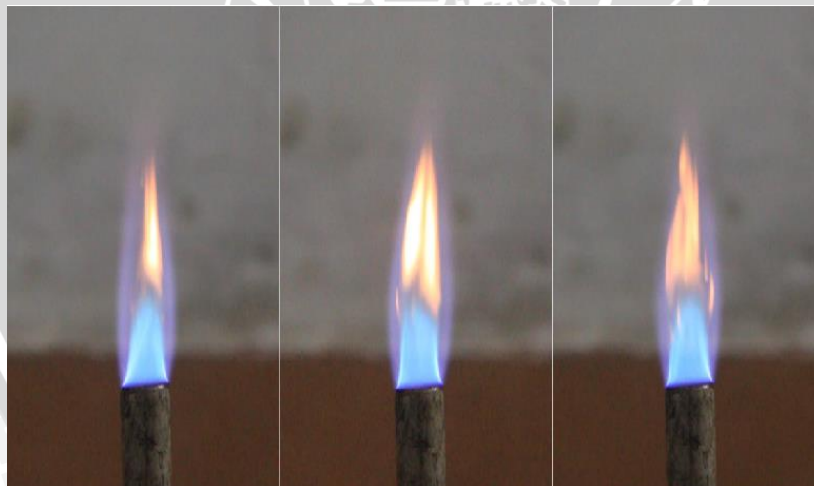
Tabel 4.4 Data Kecepatan Api Laminer pada Minyak Jarak non Gliserol

<i>Equivalence ratio (Φ)</i>	θ	$\sin \theta$	V_u (m/min)	S_L (cm/sec)
1,090	16,41	0,282508884	64,29143599	30,2715031
1,272	14,04	0,242599231	55,26447064	22,34519678
1,526	9,95	0,172788705	46,23750529	13,31553108
1,908	7,1	0,123601477	37,21053994	7,665462812
2,544	7,52	0,130872264	28,18357459	6,147413681
3,816	6,7	0,116670737	19,15660924	3,7250262

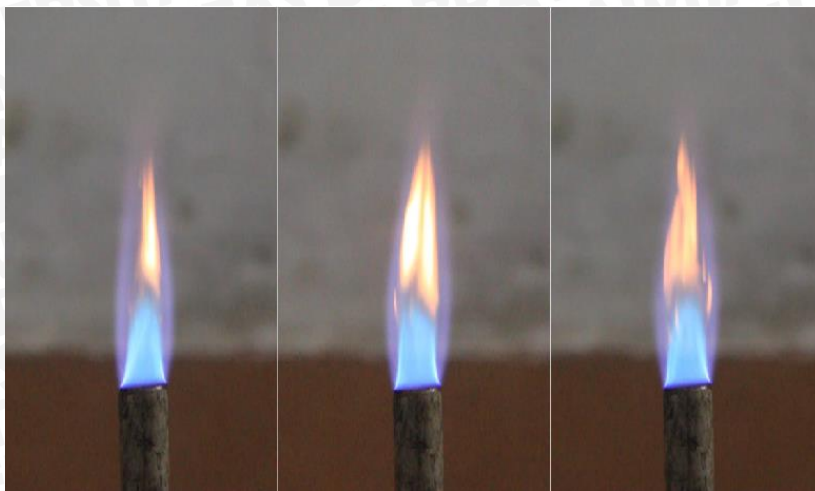
4.3 Visualisasi Nyala Api

4.3.1 Visualisasi Api Minyak Jarak Mentah

Di bawah ini adalah visualisasi nyala api lamier pada minyak jarak murni dari *equivalence ratio* 0,644 sampai 2,896



Gambar 4.3 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 0,644



Gambar 4.4 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 0,724



Gambar 4.5 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 0,827



Gambar 4.6 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 0,965



Gambar 4.7 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 1,158



Gambar 4.8 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 1,448



Gambar 4.9 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 1,931



Gambar 4.10 Nyala Api minyak jarak mentah *equivalence ratio* 2,896

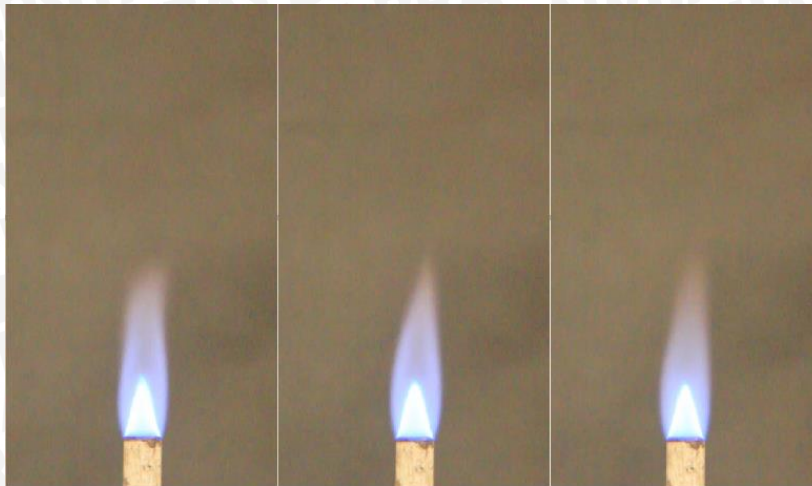
Visualisasi di atas adalah bentuk nyala api dari minyak jarak murni dengan berbagai *equivalence ratio* yang nantinya dapat diperoleh data berupa sudut api sehingga didapatkan nilai kecepatan api premiks laminernya (S_L).

4.3.2 Visualisasi Api Minyak Jarak non Gliserol

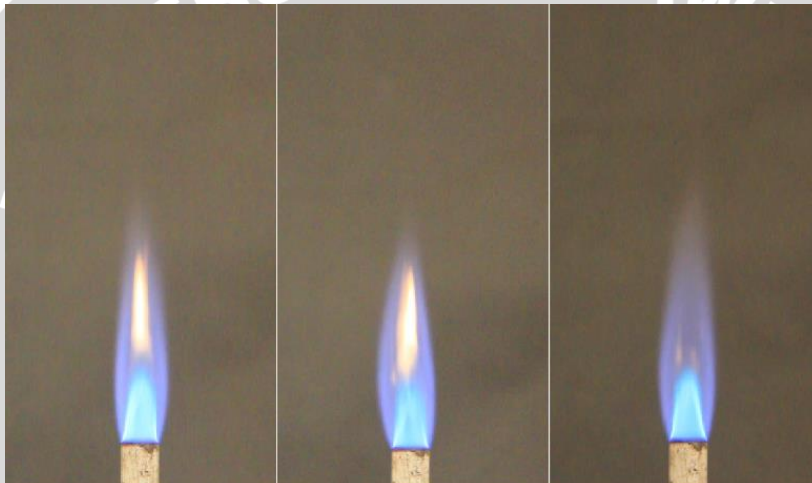
Di bawah ini adalah visualisasi nyala api premiks laminer pada minyak jarak murni dari *equivalence ratio* 1,090 sampai 3,816



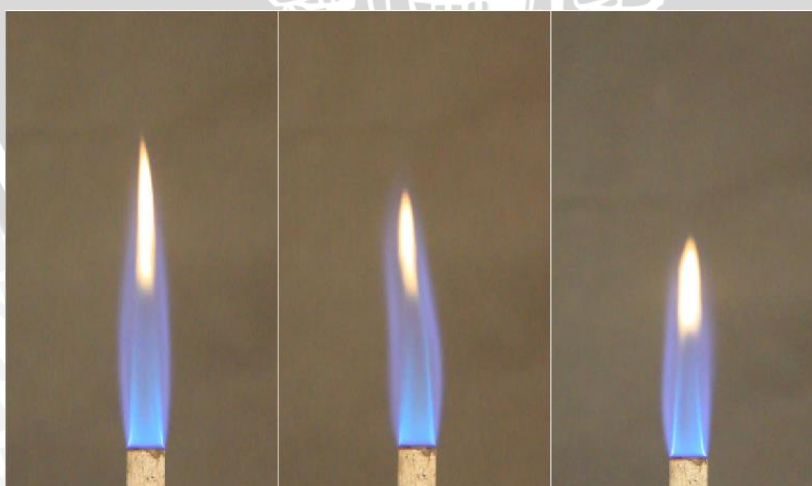
Gambar 4.11 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 1,090



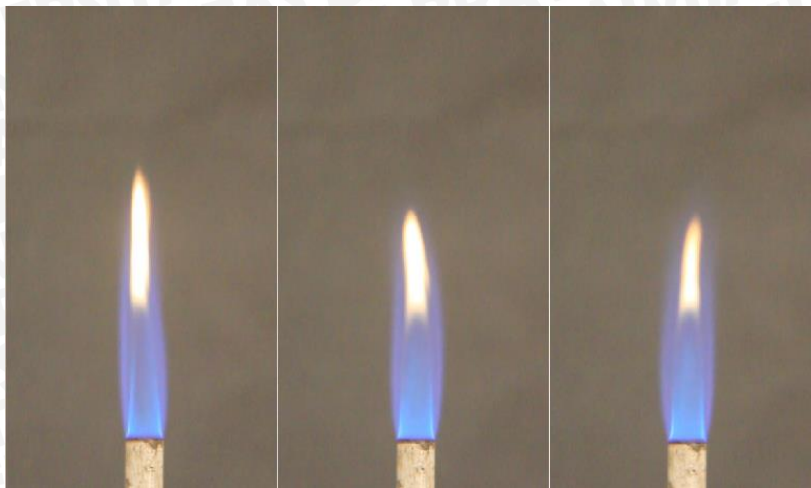
Gambar 4.12 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 1,272



Gambar 4.13 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 1,526



Gambar 4.14 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 1,908



Gambar 4.15 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 2,544

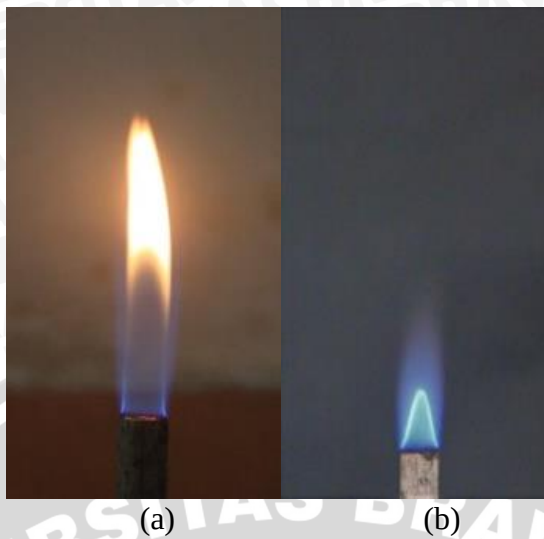


Gambar 4.16 Nyala Api minyak jarak non gliserol *equivalence ratio* 3,816

Visualisasi di atas adalah bentuk nyala api dari minyak jarak non gliserol dengan berbagai *equivalence ratio* yang nantinya dapat diperoleh data berupa sudut api sehingga didapatkan nilai kecepatan api premiks laminernya (S_L). Nantinya kecenderungan kecepatan api ini akan dibandingkan dengan minyak jarak crude sehingga dapat diketahui peran gliserol pada minyak jarak.

4.3.3 Perbandingan visualisasi nyala api

Visualisasi di atas dilampirkan untuk diketahui perbedaan nyala api yang terjadi pada minyak jarak mentah dan minyak jarak yang gliserolnya telah dihilangkan. Untuk perbandingan digunakan nyala api dengan *equivalence ratio* 1,158 pada minyak jarak mentah dan 1,090 pada minyak jarak non gliserol



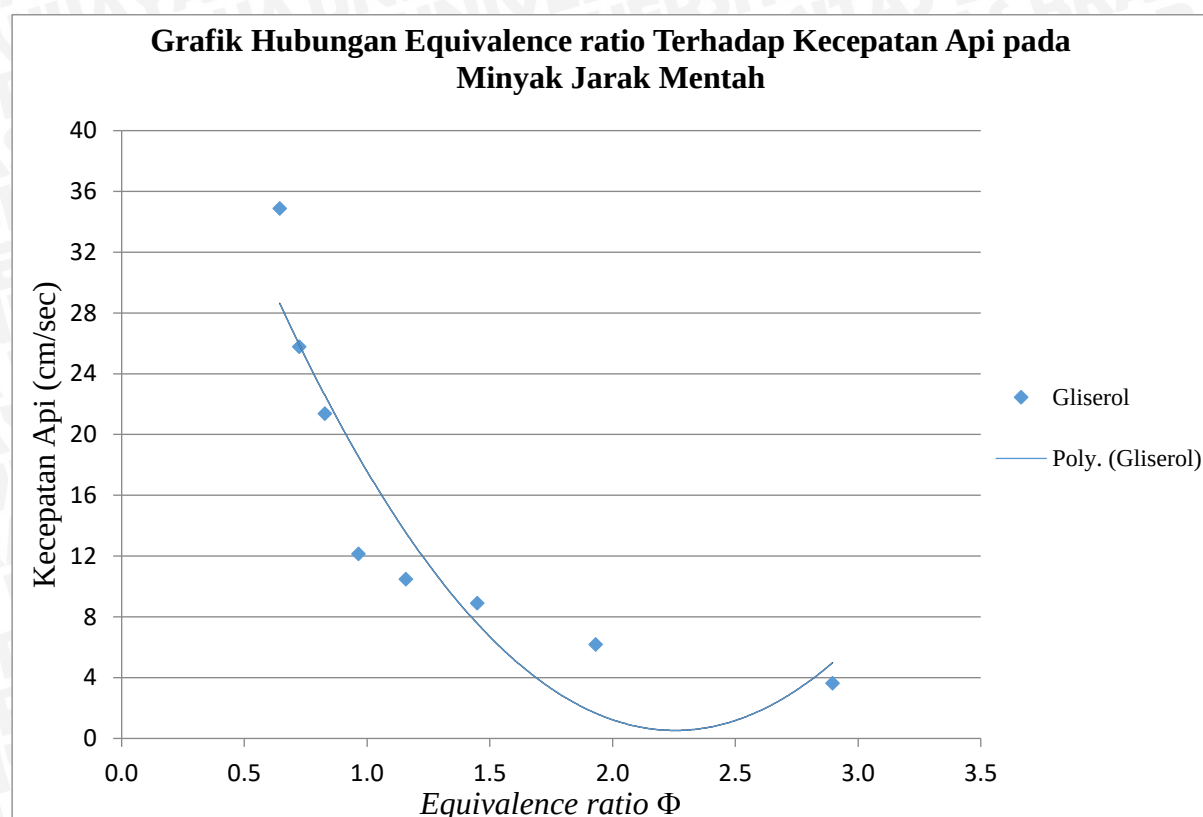
Gambar 4.17 Visualisasi nyala api: (a) minyak jarak mentah dengan *equivalence ratio* 1,158 (b) minyak jarak non gliserol dengan *equivalence ratio* 1,090

Dari kedua nyala api pada gambar 4.17 terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara minyak jarak mentah dan non gliserol dimana pada *equivalence ratio* mendekati 1 ini, api di minyak jarak non gliserol terlihat sangat laminar sehingga kerucut api premixed dapat terlihat jelas. Sedangkan pada minyak jarak murni, kerucut api premixed yang ada masih kurang jelas dan adanya kerucut api difusi yang terlihat. Hal ini disebabkan oleh adanya gliserol pada minyak jarak mentah sangat membebani reaksi pembakaran dengan cara menyerap kalor yang terjadi sehingga menyebabkan kecepatan api laminernya juga akan menurun ditunjukkan dengan sudut kerucut premixed yang lebih kecil jika dibandingkan dengan minyak jarak non gliserol.

4.4 Grafik dan Pembahasan

Pembahasan berikut ini adalah hasil dari pengolahan data untuk menganalisis kecenderungan dari kecepatan api premiks laminar dengan variasi *equivalence ratio* dan minyak jarak yang masih mengandung gliserol dengan minyak jarak tanpa gliserol.

4.4.1 Hubungan Kecepatan Api Premiks Laminer Terhadap *Equivalence ratio* pada Minyak Jarak Mentah



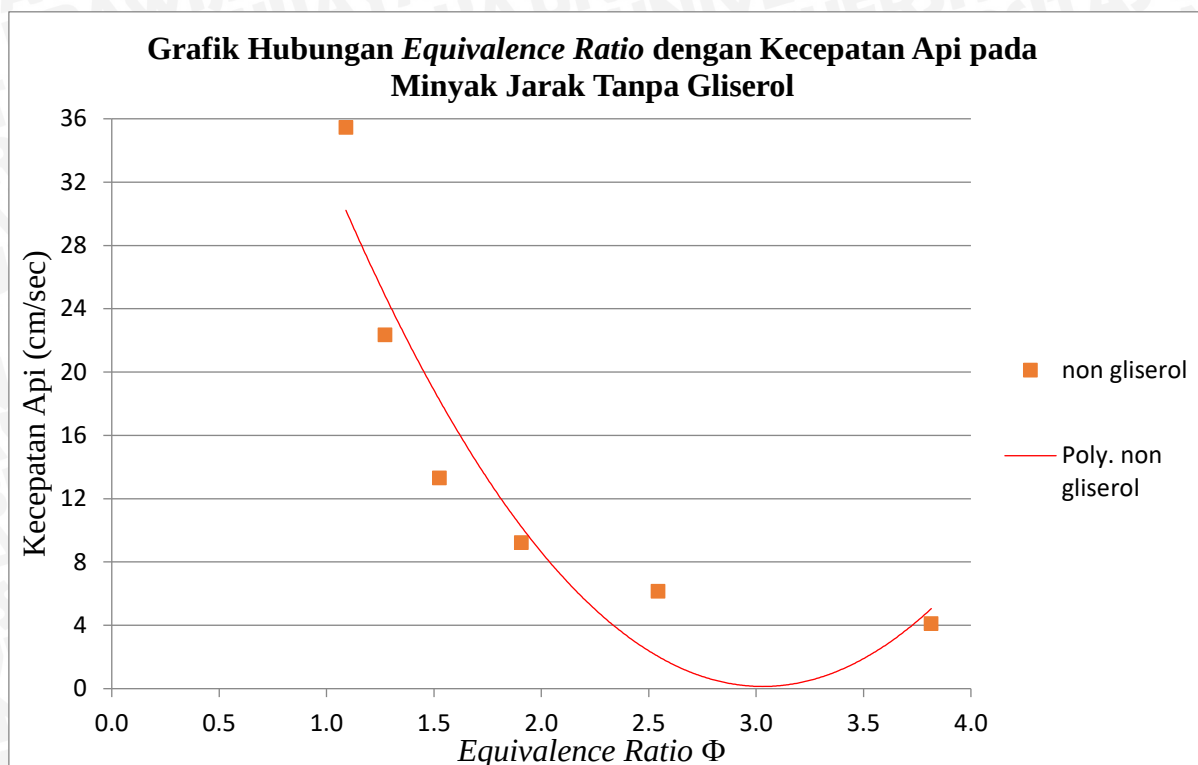
Gambar 4.18 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak mentah

Pada gambar 4.17 di atas merupakan grafik hubungan antara *equivalence ratio* yang juga dipengaruhi debit udara dengan kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak mentah. Dari grafik dapat terlihat kecepatan api premiks laminar mengalami penurunan mulai dari *equivalence ratio* 0,644 sampai 2,896. Kecepatan api yang tertinggi ada pada *equivalence ratio* 0,644 dengan nilai 34,892 cm/sec, lalu kecepatan api premiks terendah ada pada *equivalence ratio* 2,896 dengan nilai 3,637 cm/sec.

Menurunnya kecepatan api premiks ini dipengaruhi oleh besarnya sudut api serta kecepatan reaktan sesuai dengan persamaan 2-1. Dan penurunan drastis pada gambar 4.18 di atas terjadi di *equivalence ratio* kurang dari 1 yang artinya terjadi pada campuran miskin dimana massa bahan bakar yang lebih sedikit jika dibandingkan massa alir udara. Hal ini dikarenakan minyak jarak memiliki kandungan asam lemak jenuh yang lumayan besar yaitu asam palmitat sebesar sebesar 16% dan asam stearat sebesar 8% dari keseluruhan massanya. Asam lemak jenuh yang tidak memiliki ikatan rangkap membuat rantainya semakin panjang

sehingga sulit untuk terbakar dan menyebabkan kecepatan api premiks pada debit udara yang kecil menjadi lebih rendah dan menurun drastis.

4.4.2 Hubungan Kecepatan Api Premiks Laminer Terhadap *Equivalence ratio* pada Minyak Jarak Non Gliserol



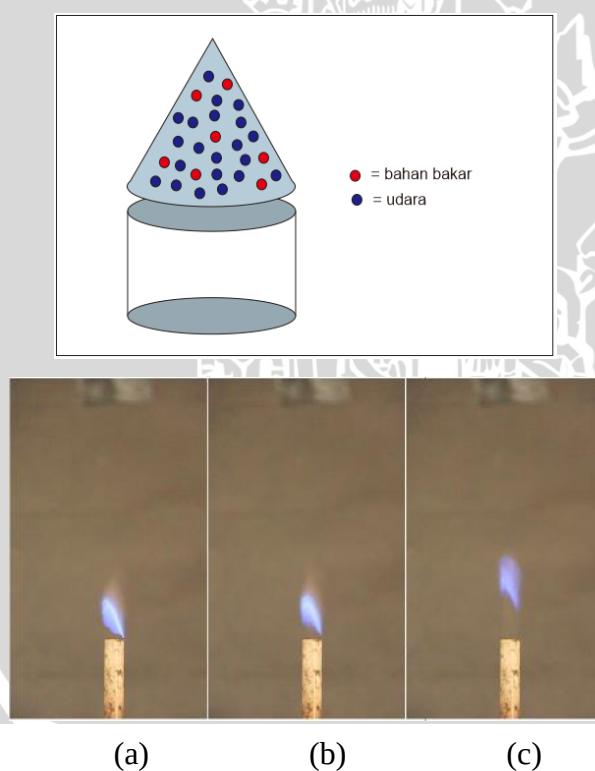
Gambar 4.19 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak non gliserol

Pada gambar 4.19 di atas merupakan grafik hubungan antara *equivalence ratio* yang juga dipengaruhi debit udara dengan kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak yang gliserolnya telah dihilangkan. Dari grafik dapat diketahui bahwa kecepatan api premiks mengalami penurunan mulai dari *equivalence ratio* 1,090 sampai dengan 3,816. Kecepatan api tertinggi ada pada *equivalence ratio* 1,090 sebesar 30,271 cm/sec, lalu kecepatan api premiks terendah berada pada *equivalence ratio* 3,816 sebesar 3,725cm/sec.

Berdasarkan grafik dapat terlihat bahwa kecepatan pembakaran tertinggi terjadi ketika campuran miskin bahan bakar yang mana massa air bahan bakar udara lebih besar dan akan menurun terus hingga kondisi menjadi campuran kaya bahan bakar yaitu *equivalence ratio* lebih dari 1. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya kecepatan reaktan dan sudut api premiks laminar yang dapat dilihat pada visualisasi nyala api minyak jarak non gliserol pada lampiran yang menunjukkan perbedaan sudut api di tiap *equivalence ratio* yang berbeda pula.

Kecepatan api premiks laminar tertinggi terjadi pada campuran miskin atau *equivalence ratio* < 1 . Hal ini dikarenakan minyak jarak memiliki kandungan asam lemak oleat sebesar 43,8% dan asam lemak linoleat sebesar 28%. Kedua asam lemak ini adalah asam lemak tidak jenuh yang memiliki ikatan ganda atau lebih pada rantai penyusunnya. Hal ini menjadikan asam lemak ini mudah terbakar disebabkan oleh rantai karbon penyusun yang semakin pendek pula. Sehingga menyebabkan minyak jarak dapat mudah terbakar serta semakin besarnya debit udara maka kecepatan api laminernya juga akan semakin besar.

Pada minyak jarak non gliserol ini tidak didapatkan data nyala api dengan *equivalence ratio* di bawah 1 atau campuran miskin bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh tidak stabilnya pembakaran yang terjadi karena hanya ada satu tahap pembakaran yang terjadi yaitu pembakaran asam lemak saja. Sehingga fungsi gliserol yang telah disebutkan di subbab 2.10 yaitu sebagai penyetabil reaksi tidak didapatkan pada minyak jarak non gliserol ini. Ini juga lah yang menyebabkan *flammability limit* dari minyak jarak non gliserol menjadi lebih kecil.

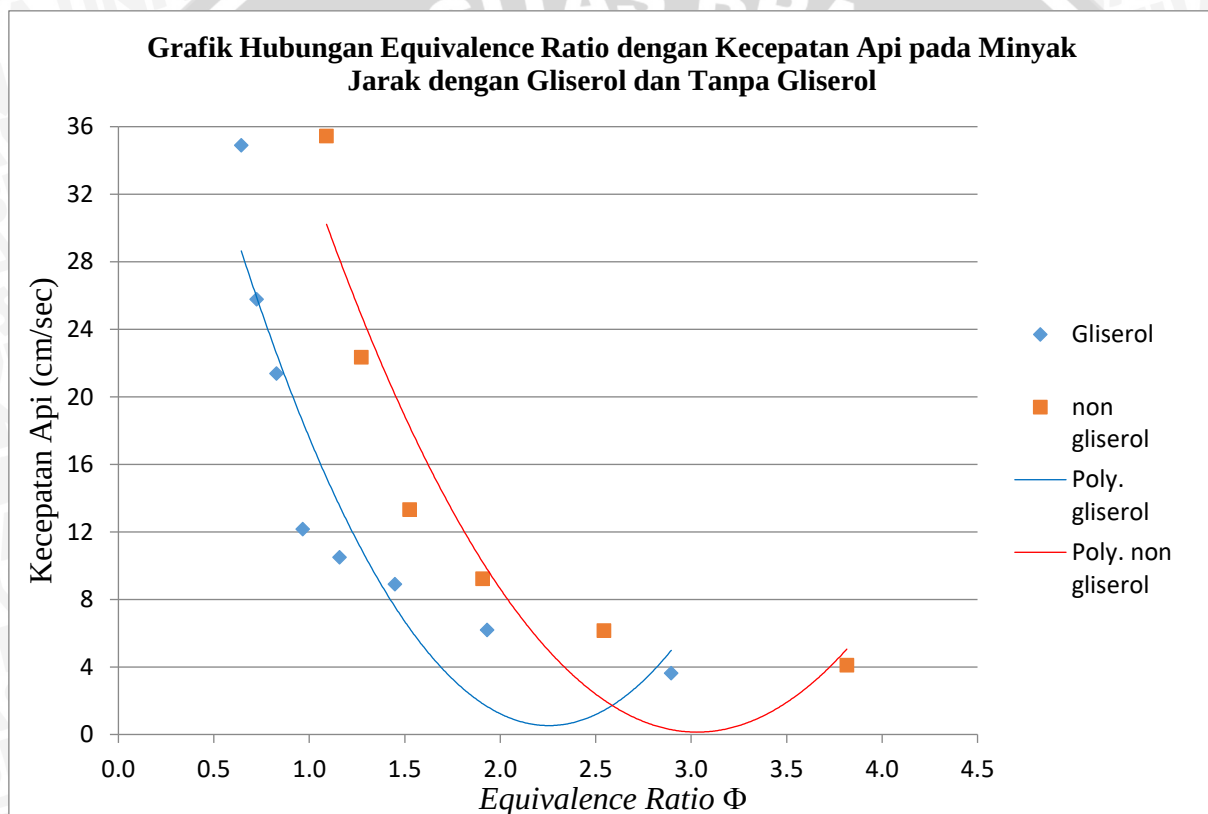


Gambar 4.20 Proses terjadinya *blow off* pada minyak jarak non gliserol di *equivalence ratio* 0.953: (a) *lift off* (b) *lifted* (c) *blow off*

Proses terjadinya *blow off* yang tampak pada gambar 4.22 dapat terjadi di minyak jarak non gliserol dikarenakan jumlah molekul udara yang terlalu banyak jika dibandingkan dengan jumlah molekul bahan bakar yaitu uap minyak jarak dibuktikan dengan hal ini terjadi

pada equivalence ratio 0,953 yang artinya debit udara sudah terlalu besar. Hal ini menyebabkan jumlah energi dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk melakukan reaksi pembakaran menjadi semakin berkurang sehingga pembakaran tidak dapat terjadi secara berkelanjutan dan nyala api yang semakin lama semakin hilang. Tidak adanya gliserol juga mempengaruhi terjadinya blow off ini dikarenakan tidak adanya molekul yang berfungsi sebagai akumulator panas yang berfungsi menyerap dan melepaskan kalor.

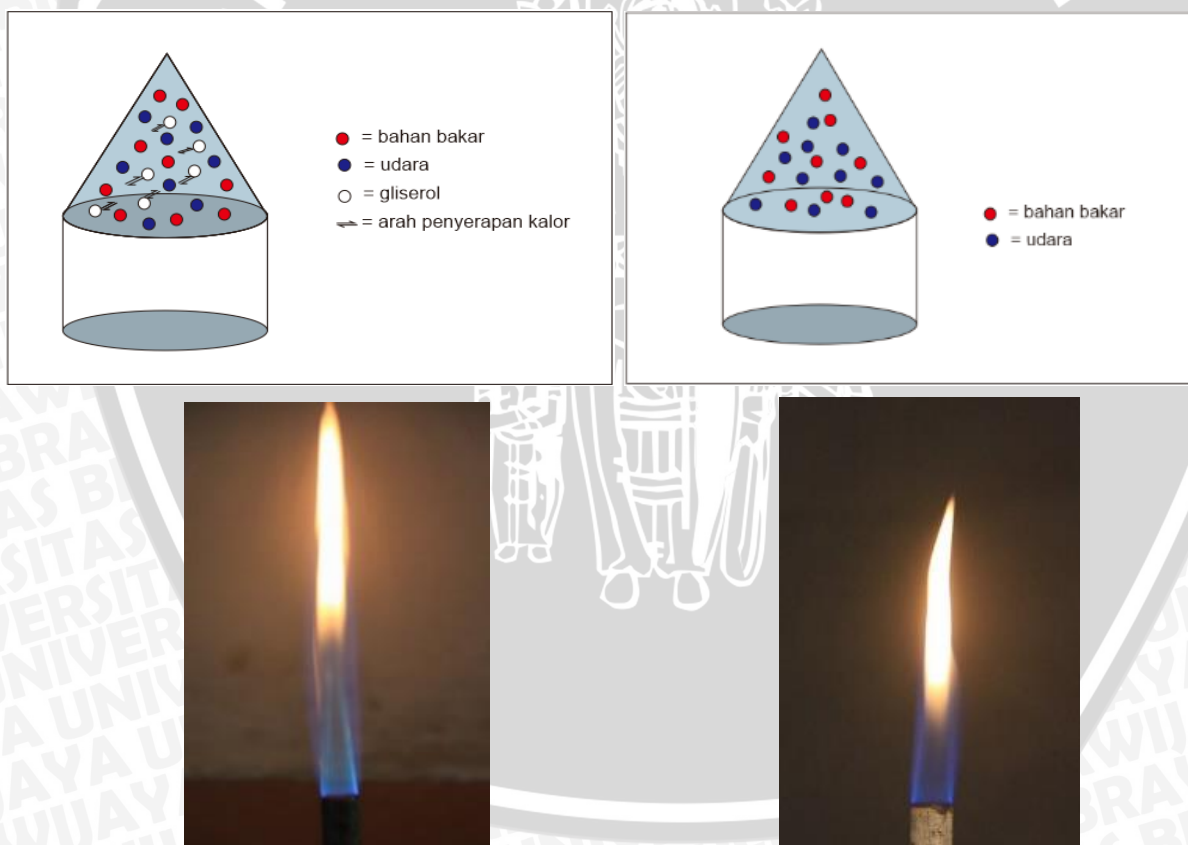
4.4.3 Hubungan Kecepatan Api Premiks Laminer Terhadap *Equivalence ratio* pada Minyak Jarak Mentah dan Non Gliserol



Gambar 4.21 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak mentah dan non gliserol

Pada gambar 4.21 merupakan grafik hubungan antara *equivalence ratio* yang juga dipengaruhi debit udara dengan kecepatan api premiks laminar pada minyak jarak mentah dan non gliserol dimana gliserolnya telah dihilangkan. Perbedaan pada grafik dibedakan dengan warna yang ditampilkan dimana warna biru menandakan kecenderungan kecepatan api premiks laminar dari minyak jarak mentah. Sedangkan warna jingga menunjukkan kecenderungan kecepatan api premiks laminar dari minyak jarak yang gliserolnya telah dihilangkan sehingga dapat diketahui peran gliserol pada minyak jarak ini.

Terlihat adanya perbedaan *equivalence ratio* antara minyak jarak mentah dengan minyak jarak non gliserol dimana minyak jarak mentah memiliki 8 titik *equivalence ratio* yang berbeda yaitu: 0,644; 0,724; 0,827; 0,965; 1,165; 1,448; 1,931; 2,896 sehingga didapatkan 8 titik kecepatan api premiks laminar yang berbeda pula. Sedangkan pada minyak jarak non gliserol hanya didapatkan 6 titik *equivalence ratio* yang nilainya juga berbeda dengan minyak jarak mentah yaitu: 1,090; 1,272; 1,526; 1,908; 2,544; 3,816 sehingga didapatkan 6 titik kecepatan api premiks laminar yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa minyak jarak yang hanya berbeda dari ada dan tidak adanya gliserol memiliki *flammability limit* yang berbeda dimana minyak jarak mentah memiliki *flammability limit* yang lebih besar dibandingkan dengan minyak jarak non gliserol. *Flammability limit* yang dimaksudkan adalah batas atau range dimana campuran antara uap minyak jarak dan udara dapat dinyalakan dan dibakar sehingga ketika berada di bawah atau di atas *flammability limit* ini campuran antara uap dan bahan bakar tidak dapat dibakar.



Gambar 4.22 Pembakaran pada minyak jarak mentah dan minyak jarak non gliserol

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.10 bahwa pada minyak jarak non gliserol terjadi proses hidrolisis alami yang menyebabkan gliserol yang ada pada minyak jarak mentah terpisah dan menyerap uap air yang ada di lingkungan ruang bakar sehingga

menyebabkan pembakaran menjadi 2 tahap. Molekul yang terbakar pertama kali adalah asam lemak karena memiliki viskositas yang lebih rendah dan flash point yang lebih rendah pula. Gliserol yang memiliki sifat higroskopis akan terbakar pada tahap selanjutnya karena untuk membakar gliserol yang telah menyerap air serta memiliki viskositas lebih tinggi membutuhkan energi kalor yang lebih besar pula.

Sedangkan pada minyak jarak non gliserol, pembakaran yang terjadi hanya satu tahap yaitu hanya membakar asam lemak saja tanpa adanya gliserol yang dapat menyerap uap air di lingkungan. Dan hal inilah yang menyebabkan pembakaran pada minyak jarak mentah lebih stabil jika dengan *flammability limit* yang lebih besar pula jika dibandingkan dengan minyak jarak non gliserol.

Dari gambar 4.21 dapat pula dilihat bahwa kecepatan api premiks laminar pada setiap bahan bakar memiliki nilai yang menurun dari *equivalence ratio* rendah menuju nilai *equivalence ratio* yang lebih tinggi. Untuk minyak jarak mentah secara berurutan dengan *equivalence ratio* 0,644; 0,724; 0,827; 0,965; 1,165; 1,448; 1,931; 2,896 memiliki nilai kecepatan api premiks laminar sebesar 34,892; 25,783; 21,376; 12,156; 10,486; 8,898; 6,191; 3,637 dengan masing-masing kecepatan memiliki satuan cm/sec. Sedangkan untuk minyak jarak non gliserol secara berurutan dengan *equivalence ratio* 1,090; 1,272; 1,526; 1,908; 2,544; 3,816 memiliki kecepatan api premiks laminar sebesar 30,271; 22,345; 13,315; 7,665; 6,147; 3,725 dengan masing-masing kecepatan memiliki satuan cm/sec.

