

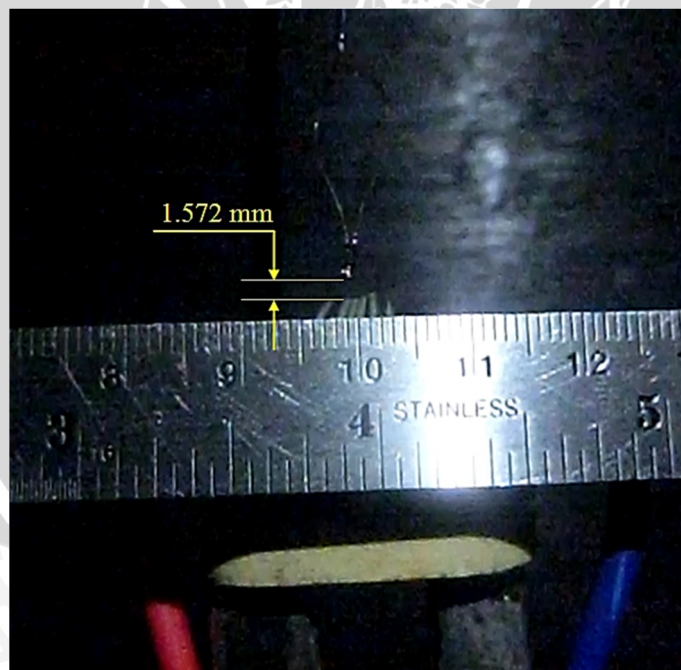
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Data yang diambil dari penelitian ini merupakan data karakteristik dari campuran minyak jarak dengan berbagai variasi penambahan Rhodium yaitu sebesar 0.00%, 0.01% dan 0.02%, serta data minyak DEX sebagai pembanding. Data diperoleh dari perekaman nyala api dan data *logger* selama proses pembakaran berlangsung. Data visualisasi api dan *burning lifetime* didapatkan dari perekaman nyala api menggunakan kamera. Sedangkan data temperatur dan waktu saat pembakaran *droplet* didapatkan dari data *logger*. Dan *Ignition delay* didapatkan dari hasil waktu total pembakaran dikurangi dengan *burning lifetime*.

#### 4.1.1 Diameter Droplet

Pada penelitian ini, *droplet* yang terbentuk dari alat pembentuk *droplet* berukuran 0,65 – 1,05 mm. *Droplet* digantungkan pada *thermocouple* yang berjarak 1,572 mm di atas *heater*. Gambar 4.1 menunjukkan jarak antara *thermocouple* dan *heater*.



Gambar 4.1 Jarak antara *thermocouple* dan *heater*  
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2016)

Tabel 4.1 Data diameter *droplet*

| <i>Sample</i>            | <i>Diameter Droplet (mm)</i> |
|--------------------------|------------------------------|
| Minyak Jarak + Rh 0,00 % | 0,82                         |
| Minyak Jarak + Rh 0,01 % | 0,74                         |
| Minyak Jarak + Rh 0,02 % | 0,91                         |
| Minyak DEX               | 0,97                         |

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2016)

#### 4.1.2 Data Hasil Penelitian

Tabel 4.2 Data karakteristik pembakaran

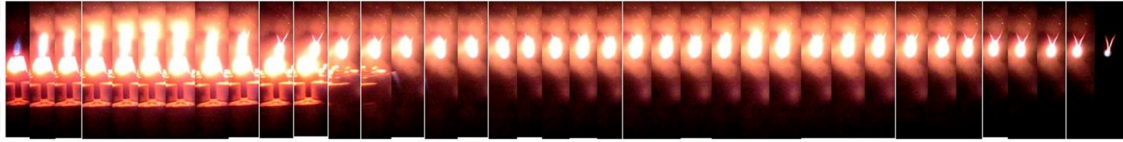
| <i>Sample</i>            | <i>Ignition Delay (s)</i> | <i>Burning Rate (mm<sup>2</sup>/s)</i> | <i>Temperatur Pembakaran (°C)</i> | <i>Tinggi (mm)</i> | <i>Lebar (mm)</i> |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Minyak Jarak + Rh 0,00 % | 1,03                      | 0,47                                   | 590,92                            | 15,51              | 6,18              |
| Minyak Jarak + Rh 0,01 % | 1,88                      | 0,70                                   | 606,70                            | 12,84              | 6,25              |
| Minyak Jarak + Rh 0,02 % | 2,31                      | 0,74                                   | 578,87                            | 15,28              | 9,11              |
| Minyak DEX               | 1,37                      | 0,48                                   | 648,82                            | 19,15              | 7,97              |

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2016)



## 4.2 Analisis dan Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap Visualisasi Api Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.2 Visualisasi api pada minyak jarak + Rh 0.00%



Gambar 4.3 Visualisasi api pada minyak jarak + Rh 0.01%



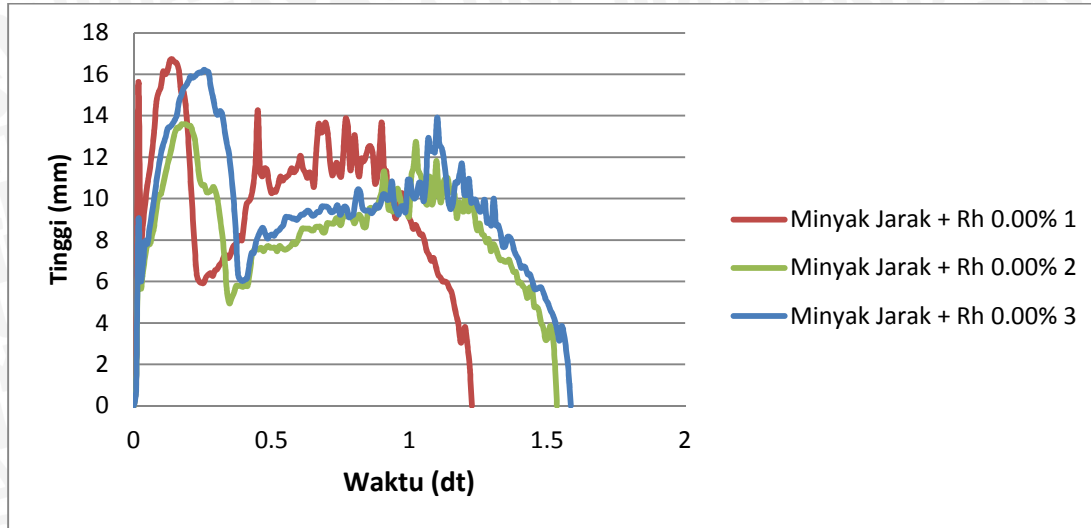
Gambar 4.4 Visualisasi api pada minyak jarak + Rh 0.02%



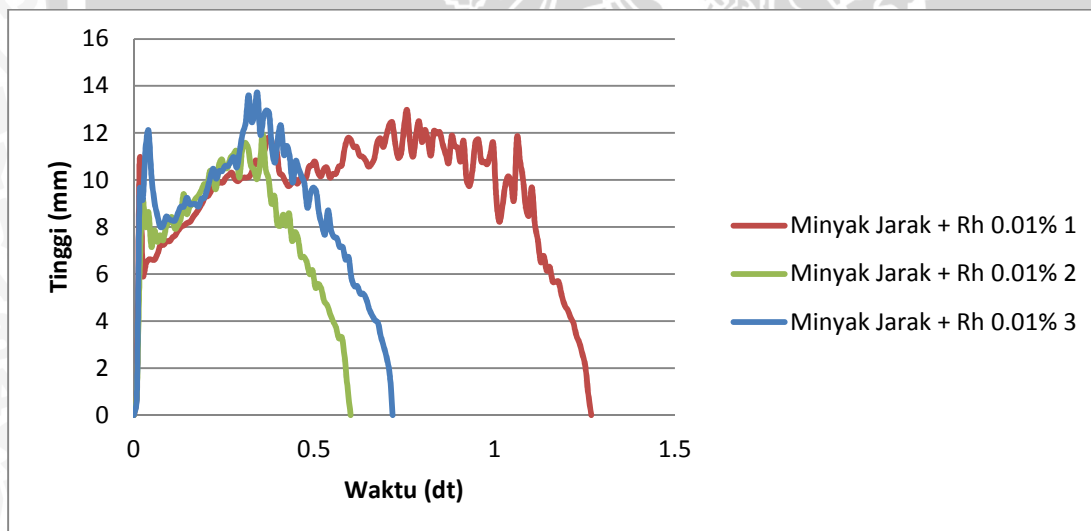
Gambar 4.5 Visualisasi api pada minyak DEX

Gambar 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 diatas merupakan visualisasi dari proses pembakaran droplet pada minyak yang telah diuji. Pada perubahan tinggi dan lebar api minyak jarak pagar yang ditambahkan Rhodium cenderung lebih stabil dibandingkan tanpa penambahan Rhodium. Dan bisa dilihat untuk api minyak jarak pagar yang ditambahkan dengan Rhodium berbentuk lebih bulat pada awal pembakaran dibandingkan dengan minyak jarak pagar tanpa Rhodium.

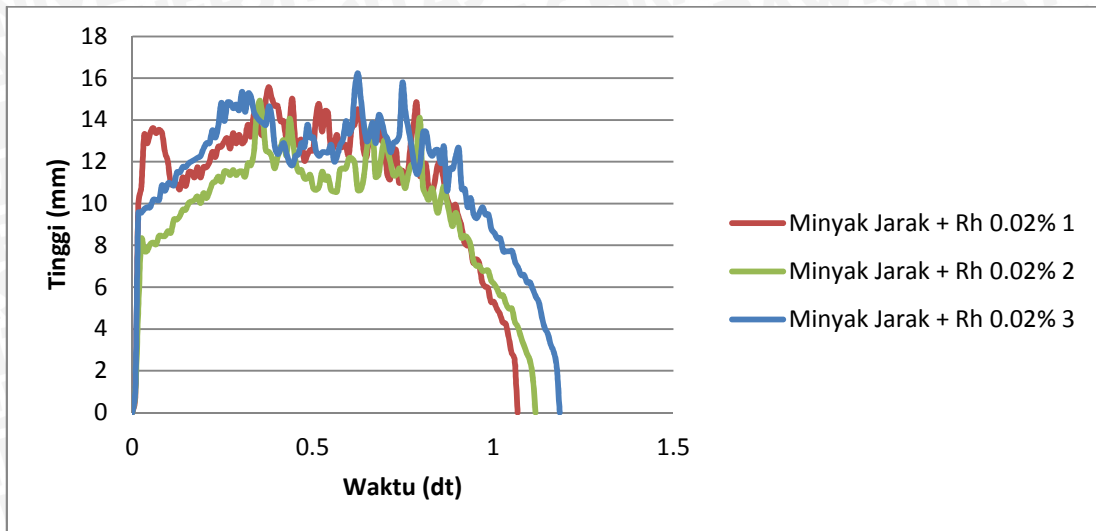
#### 4.2.1.1 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap Tinggi Api Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



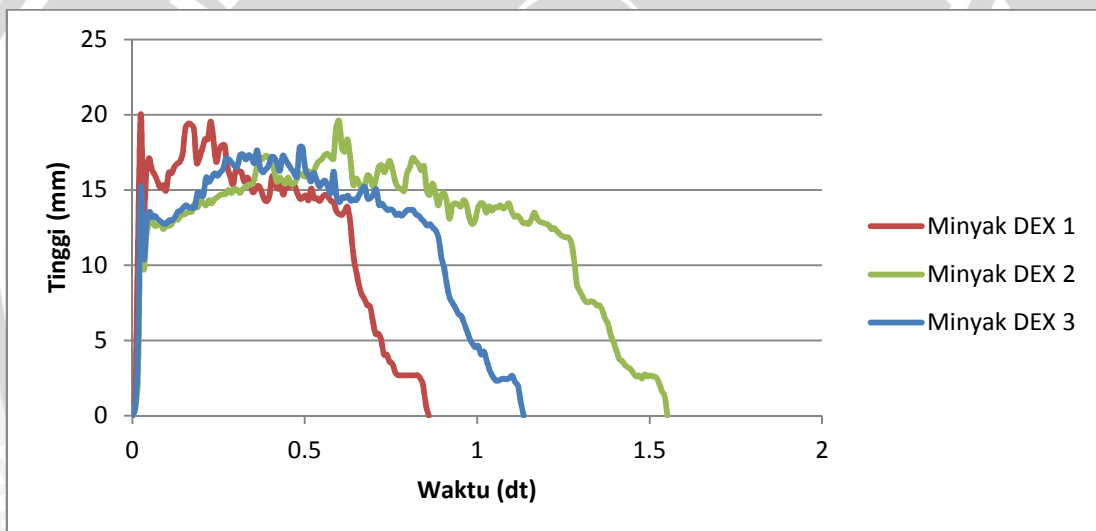
Gambar 4.6 Grafik hubungan tinggi dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.00%



Gambar 4.7 Grafik hubungan tinggi dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.01%



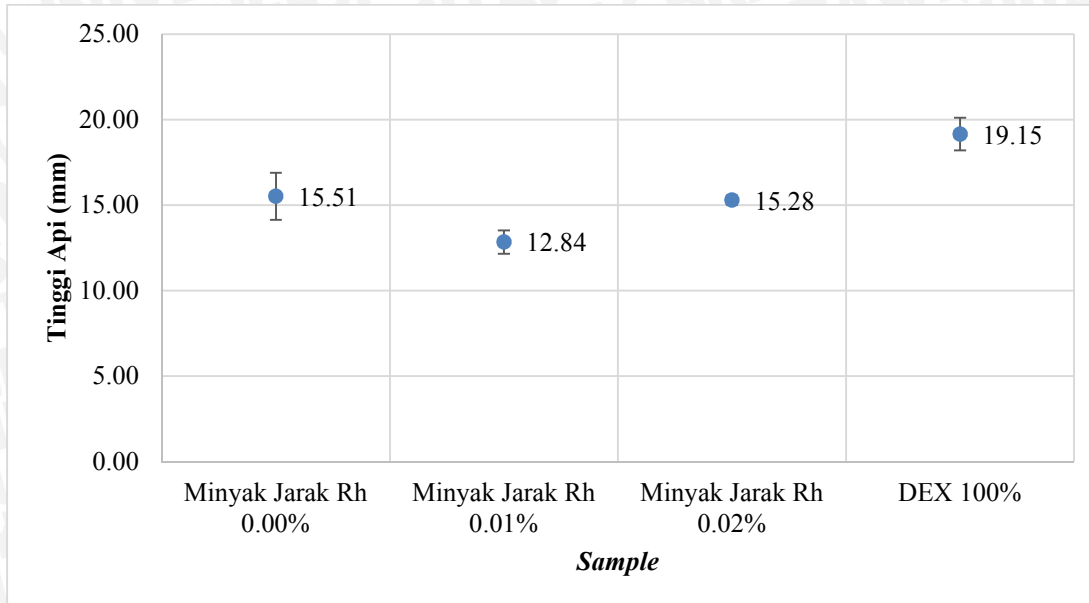
Gambar 4.8 Grafik hubungan tinggi dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.02%



Gambar 4.9 Grafik hubungan tinggi dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak DEX

Pada Gambar 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 menunjukkan ketinggian api dan waktu dari pembakaran *droplet* masing-masing minyak yang diukur dari gambar nyala api pada gambar 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5. Sumbu *horizontal* menunjukkan waktu nyala api dan sumbu *vertical* menunjukkan tinggi api. Pada gambar diatas bisa dilihat terjadi peningkatan tinggi api secara tiba-tiba yang dimana menandakan terjadinya *micro-explosion* seperti pada gambar 4.11.



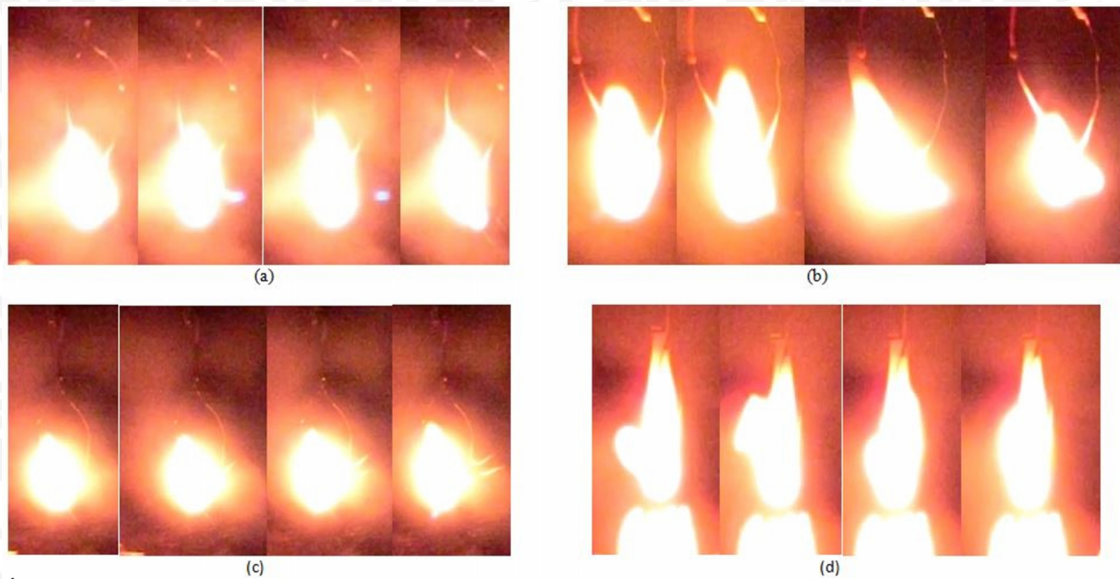


Gambar 4.10 Grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap tinggi api pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada Gambar 4.10 diatas adalah grafik pengaruh variasi penambahan rhodium terhadap tinggi api pembakaran *droplet* minyak jarak pagar. Nilai temperatur dari Minyak Jarak Rh 0,00%, Minyak Jarak Rh 0,01%, Minyak Jarak Rh 0,02% dan Minyak Dex yaitu 15,51 mm, 12,84 mm, 15,28 mm dan 19.15 mm. Minyak DEX memiliki nilai tertinggi dan Minyak Jarak Rh 0,01% memiliki nilai paling rendah.

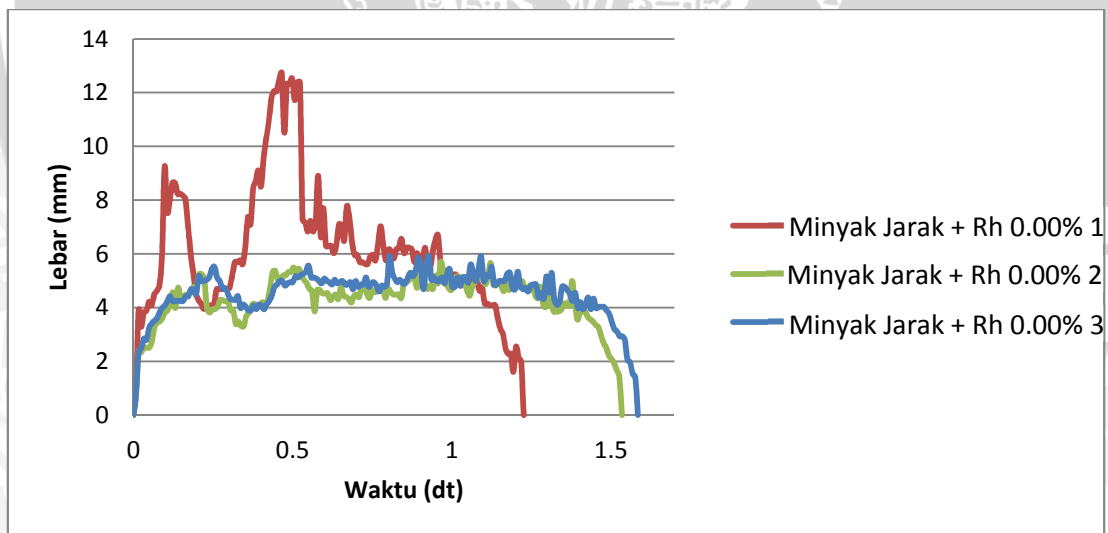
Dengan adanya Rhodium dapat menurunkan tinggi api dikarenakan dengan penambahan Rhodium akan mempercepat terjadinya proses pembakaran dan proses pembakaran yang cepat dapat membuat tinggi dari apinya kecil. Panjang api akan berbanding terbalik dengan difusitas molekular (Wardana, 2008:190).

Namun pada Minyak Jarak Rh 0,02% ketinggian apinya besar dibandingkan dengan minyak jarak Rh 0.00% dan minyak jarak Rh 0.01% dikarenakan dengan penambahan Rhodium yang terlalu banyak menyebabkan molekul minyak jarak lebih bermuatan dan lebih reaktif ketika pembakaran sehingga akan mempermudah terjadinya *micro-explosion* yang dimana membuat *bulge geometry* dan secara tiba-tiba tinggi api akan bertambah seperti jarum (Wardana, 2009).

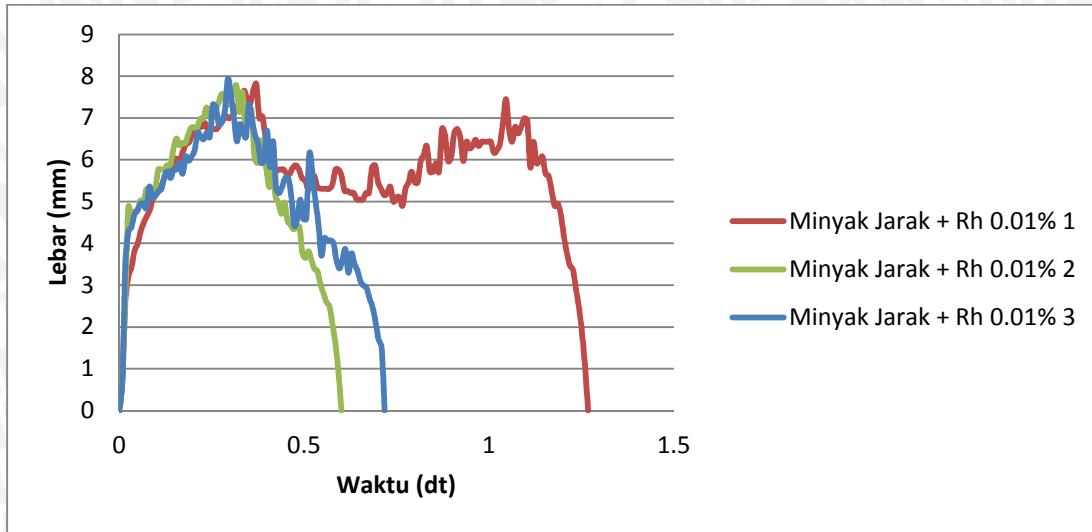


Gambar 4.11 Fenomena *micro-explosion* pada (a) minyak jarak + Rh 0.00 %, (b) minyak jarak + Rh 0.01 %, (c) minyak jarak + Rh 0.02 % dan (d) Minyak DEX

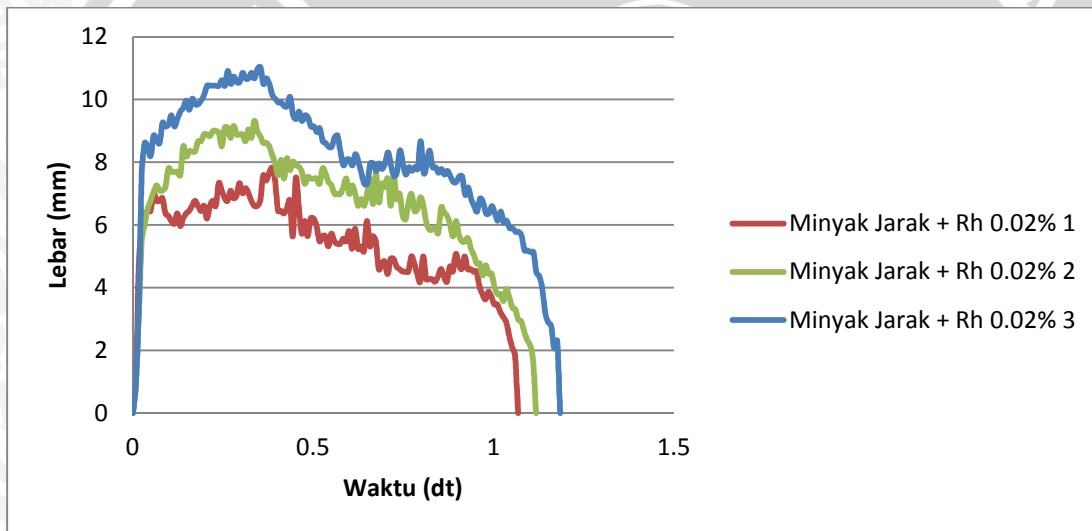
#### 4.2.1.2 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap Lebar Api Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.12 Grafik hubungan lebar dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.00%

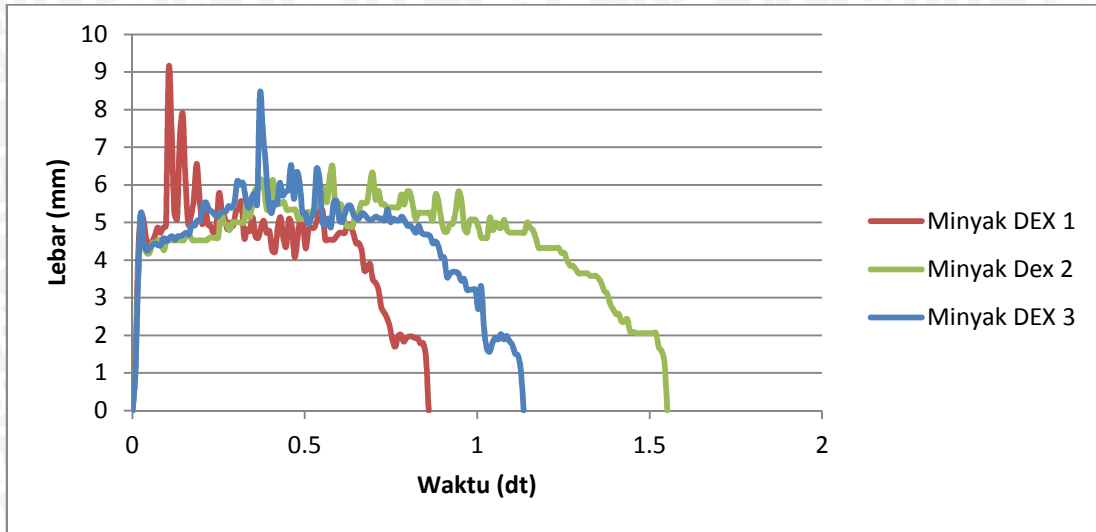


Gambar 4.13 Grafik hubungan lebar dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.01%



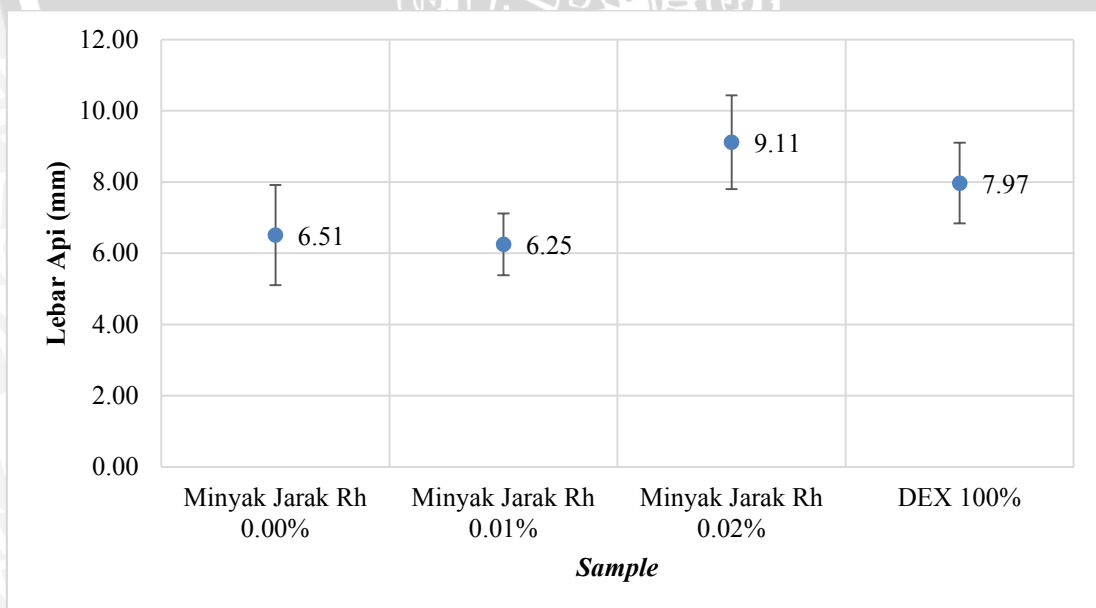
Gambar 4.14 Grafik hubungan lebar dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.02%





Gambar 4.15 Grafik hubungan lebar dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak DEX

Pada Gambar 4.12, 4.13, 4.14 dan 4.15 menunjukkan lebar api dan waktu dari pembakaran *droplet* masing-masing minyak yang diukur dari gambar nyala api pada gambar 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5. Sumbu *horizontal* menunjukkan waktu nyala api dan sumbu *vertical* menunjukkan lebar api. Pada gambar diatas bisa dilihat terjadi peningkatan lebar api secara tiba-tiba yang dimana menandakan terjadinya *micro-explosion* seperti pada gambar 4.11.



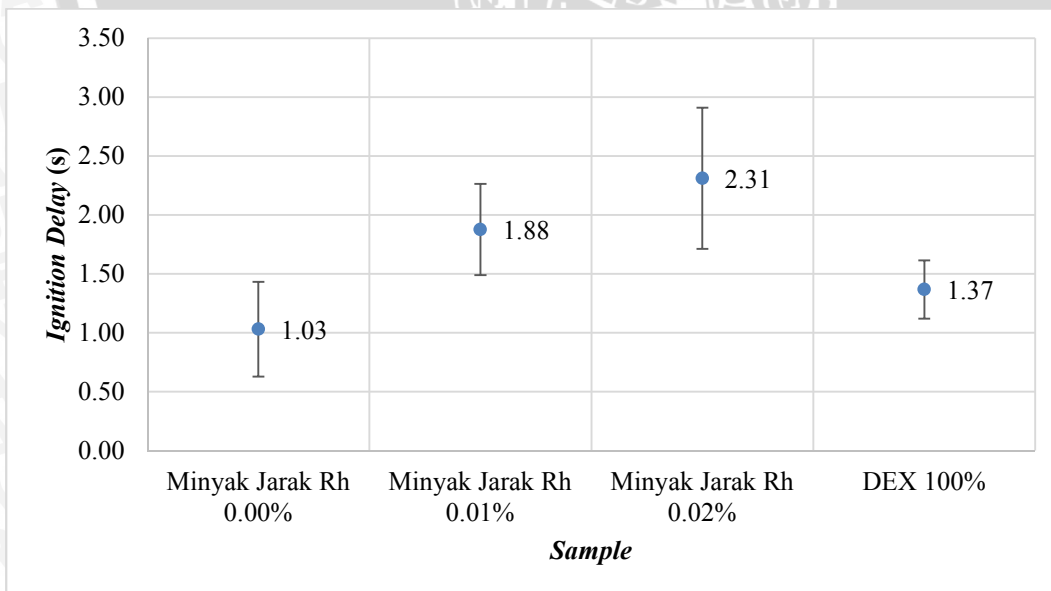
Gambar 4.17 Grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada Gambar 4.17 diatas adalah grafik pengaruh variasi penambahan rhodium terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak jarak. Yang dimana secara urut, nilai temperatur dari Minyak Jarak Rh 0,00%, Minyak Jarak Rh 0,01%, Minyak Jarak Rh 0,02% dan Minyak DEX yaitu 6,51 mm, 6,25 mm, 9,11 mm dan 7,97 mm. Minyak Jarak Rh 0,02% memiliki nilai tertinggi dan Minyak Jarak Rh 0,01% memiliki nilai paling rendah.

Dengan adanya Rhodium dapat menurunkan lebar api dikarenakan dengan penambahan Rhodium akan mempercepat terjadi proses pembakaran dan proses pembakaran yang cepat akan membuat lebar dari apinya turun.

Namun pada Minyak Jarak Rh 0,02% nilai lebar apinya besar dibandingkan dengan minyak jarak Rh 0.00% dan minyak jarak Rh 0.01% dikarenakan dengan penambahan Rhodium yang terlalu banyak menyebabkan molekul minyak jarak lebih bermuatan dan lebih reaktif ketika pembakaran sehingga akan mempermudah terjadinya *micro-explosion* yang dimana membuat *bulge geometry* dan secara tiba-tiba tinggi api akan bertambah seperti jarum (Wardana, 2009). Seperti ditunjukkan pada gambar 4.11.

#### 4.2.2 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap *Ignition Delay Time* Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.18 Grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap *ignition delay time* pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.18 diatas adalah grafik pengaruh variasi penambahan rhodium terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak jarak. Yang dimana secara urut, nilai *ignition delay* dari Minyak Jarak Rh 0,00%, Minyak Jarak Rh 0,01%, Minyak Jarak Rh 0,02% dan Minyak DEX yaitu 6,64 s, 5,75 s, 11,06 s dan 1,37 s. Minyak Jarak Rh 0,02% memiliki nilai tertinggi dan Minyak Jarak Rh 0,00% memiliki nilai paling rendah.

Dalam pembakaran minyak jarak pagar yang ditambahkan Rhodium menunjukkan *ignition delay* yang kecil dikarenakan Rhodium menurunkan energi aktivasi pembakaran. Rhodium memiliki aktivasi tinggi dalam reaksi adisi, yang menyebabkan ikatan rangkap kimia dari minyak jarak pagar tersebut diubah menjadi ikatan tunggal sehingga menurunkan nilai energi disosiasi molekul kimia minyak jarak pagar sehingga tidak dibutuhkan energi aktivasi yang besar untuk terjadi reaksi pembakaran.

Akan tetapi pada penelitian, Minyak Jarak Rh 0.01 % dan 0,02% mengalami peningkatan nilai *ignition delay*. Faktor pertama yaitu dikarenakan penambahan Rhodium yang terlalu banyak dapat menghambat transfer panas dari *heater* yang digunakan untuk memanaskan dan menguapkan *droplet* minyak jarak pagar, dikarenakan Rhodium mempunyai sifat *non-flammable* (Umicore, 2015).

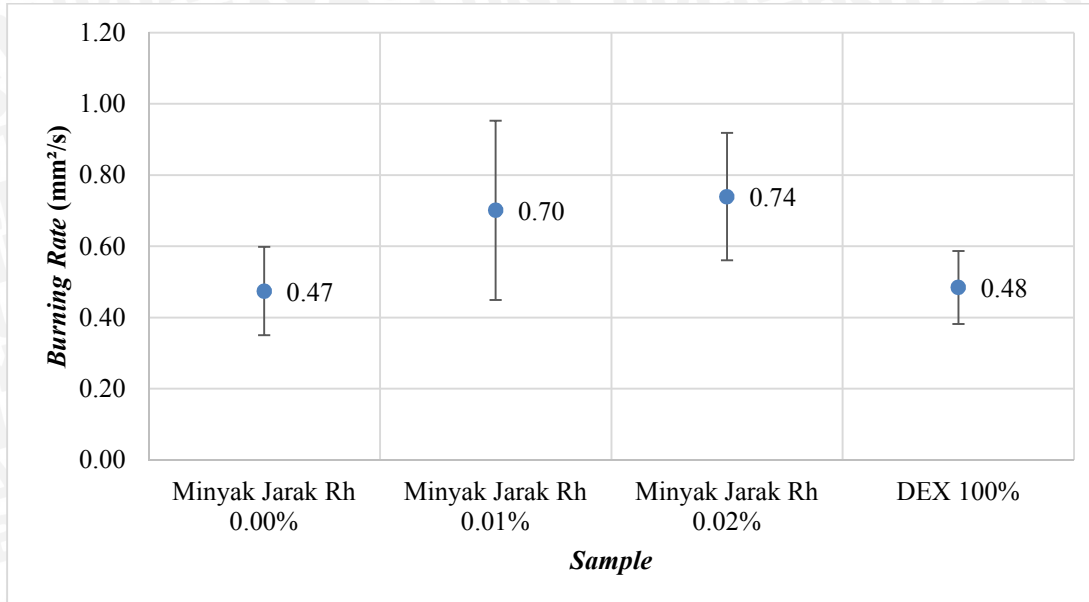
Yang kedua, Rhodium mempunyai suhu operasi pada 400-500 °C (Hagen, 2005;125). Jika penambahan Rhodium yang terlalu banyak akan meningkatkan suhu operasi dari Rhodium. Dan dengan meningkatnya suhu operasi maka akan menaikkan energi aktivasi dan *ignition delay* dari minyak jarak pagar.

Yang ketiga, penambahan Rhodium yang terlalu banyak dapat mengakibatkan nilai *heat of evaporation* minyak jarak pagar akan naik. Yang dimana, *heat of evaporation* minyak jarak 210 kJ/kg (Journal Engineering, 2007) dan Rhodium 4564,81 kJ/kg (Wikipedia, 2016). Sehingga naiknya *heat of evaporation* dapat membuat nilai *ignition delay* naik.

Yang terakhir, pada minyak jarak Rh 0.02% mempunyai ukuran *droplet* yang besar sehingga menaikkan waktu pemanasan minyak jarak pagar tersebut. Hal ini sesuai dengan persamaan  $Q.t = (m.c.\Delta T)$ , dengan bertambahnya diameter *droplet* maka massa bahan bakar (m) akan semakin besar juga sehingga waktu (t) yang dibutuhkan akan semakin lama dan nilai *ignition delay* dari minyak jarak Rh 0.02% menjadi besar.



#### 4.2.3 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



Gambar 4.19 Grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada Gambar 4.19 diatas adalah grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* minyak jarak. Yang dimana secara urut, nilai *burning rate* dari Minyak Jarak Rh 0,00%, Minyak Jarak Rh 0,01%, Minyak Jarak Rh 0,02% dan Minyak DEX yaitu 0,47 mm<sup>2</sup>/s, 0,70 mm<sup>2</sup>/s, 0,74 mm<sup>2</sup>/s dan 0,48 mm<sup>2</sup>/s. Minyak Jarak Rh 0,02% memiliki nilai tertinggi dan Minyak Jarak Rh 0,00% memiliki nilai paling rendah.

Agar dapat menghitung *burning rate*, data yang diperlukan yaitu *burning lifetime* dan diameter *droplet*. Contoh perhitungan *burning rate* dapat dilihat sebagai berikut. Contoh perhitungan dilakukan pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dengan variasi katalis Rhodium sebesar 0,00 %.

$$D^2(t) = D_0^2 - K_c \cdot t$$

Keterangan:

D : diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

D<sub>0</sub>: diameter *droplet* awal (mm)

K<sub>c</sub>: *burning rate constant* (mm<sup>2</sup>/s)

t : *burning lifetime* (s)

$$K_c = -\left(\frac{D^2 - D_0^2}{t}\right)$$

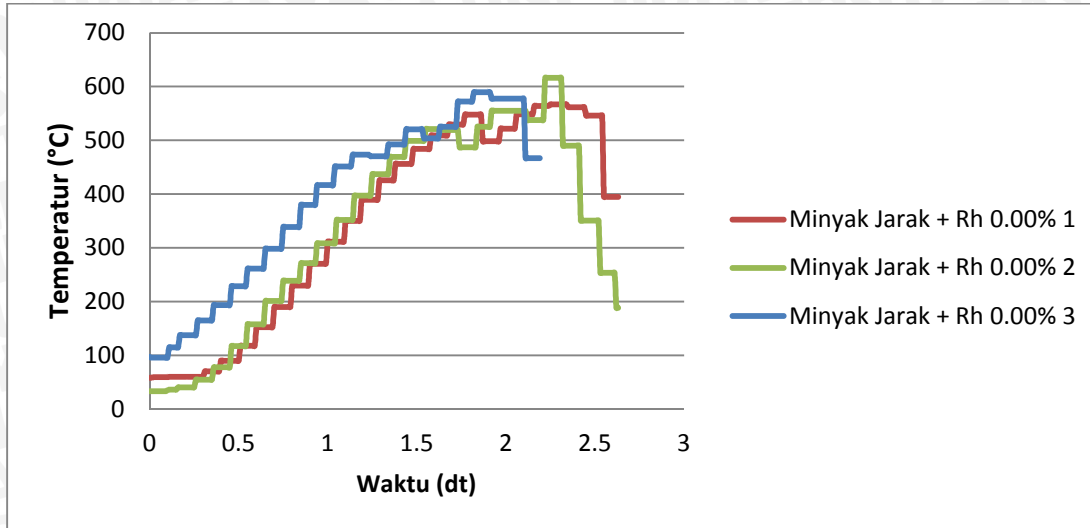
Contoh perhitungan :

$$K_c = -\left(\frac{0^2 - 0,82^2}{1,46}\right)$$

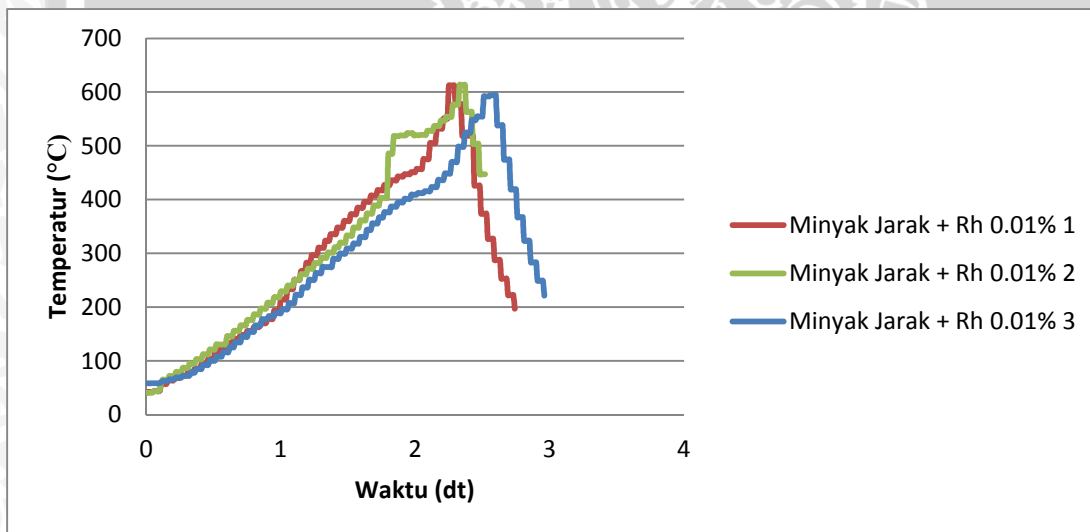
$$K_c = 0,47 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Dalam pembakaran minyak jarak dengan katalis Rhodium menunjukkan *burning rate* yang tinggi. Rhodium membuat molekul minyak jarak menjadi lebih bermuatan dan lebih mudah berdifusi dengan oksigen ketika reaksi pembakaran dikarenakan Rhodium mempunyai elektron satu, sehingga cenderung melepaskan elektronnya. Elektron dari Rhodium diberikan kepada oksigen yang dimana akibat beda potensial, oksigen lebih positif daripada katalis Rhodium sehingga oksigen bermuatan negatif dan Rhodium bermuatan positif dikarenakan kehilangan satu elektronnya. Karena rhodium bermuatan positif maka rhodium menarik elektron pada ikatan rangkap minyak jarak yang dimana rhodium dan minyak jarak mempunyai beda potensial, minyak jarak mempunyai potensial lebih negatif. Sehingga minyak jarak kehilangan elektronnya dan mengakibatkan minyak jarak bermuatan positif. Karena minyak jarak bermuatan positif dan oksigen disekitar droplet bermuatan negatif maka akan saling tarik menarik yang diakibatkan oleh beda potensial. Sehingga pembakaran akan terjadi semakin cepat dan nilai burning rate akan tinggi.

#### 4.2.3 Pengaruh Variasi Penambahan Rhodium Terhadap Temperatur Maksimal Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak

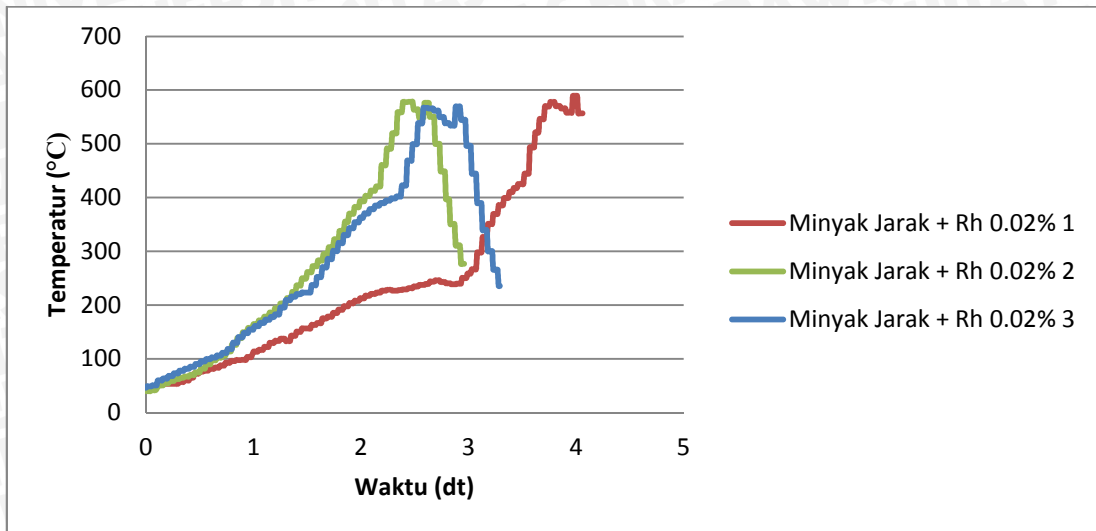


Gambar 4.20 Grafik hubungan temperatur dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.00%

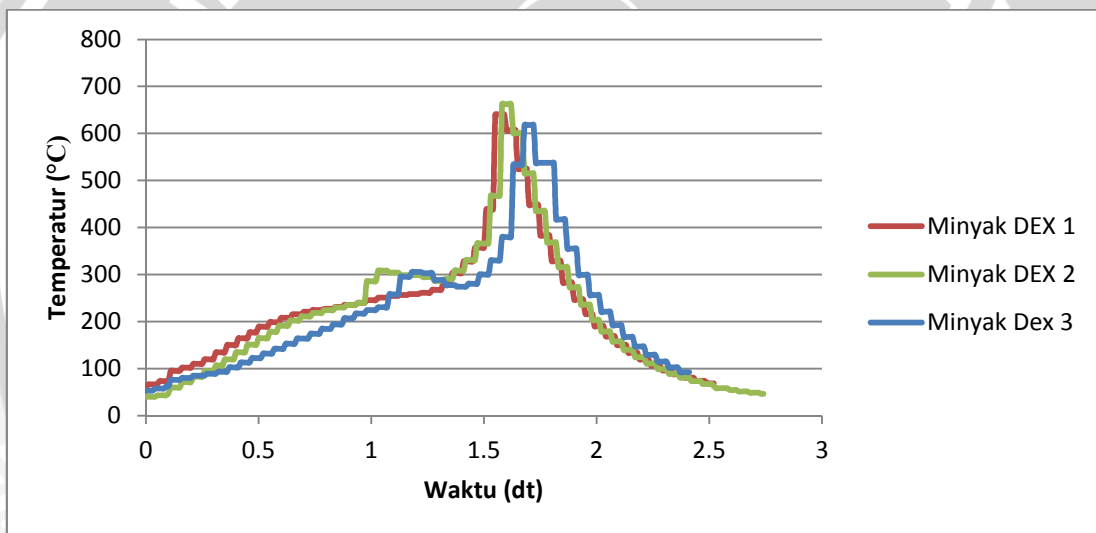


Gambar 4.21 Grafik hubungan temperatur dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.01%





Gambar 4.22 Grafik hubungan temperatur dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak jarak + Rh 0.02%



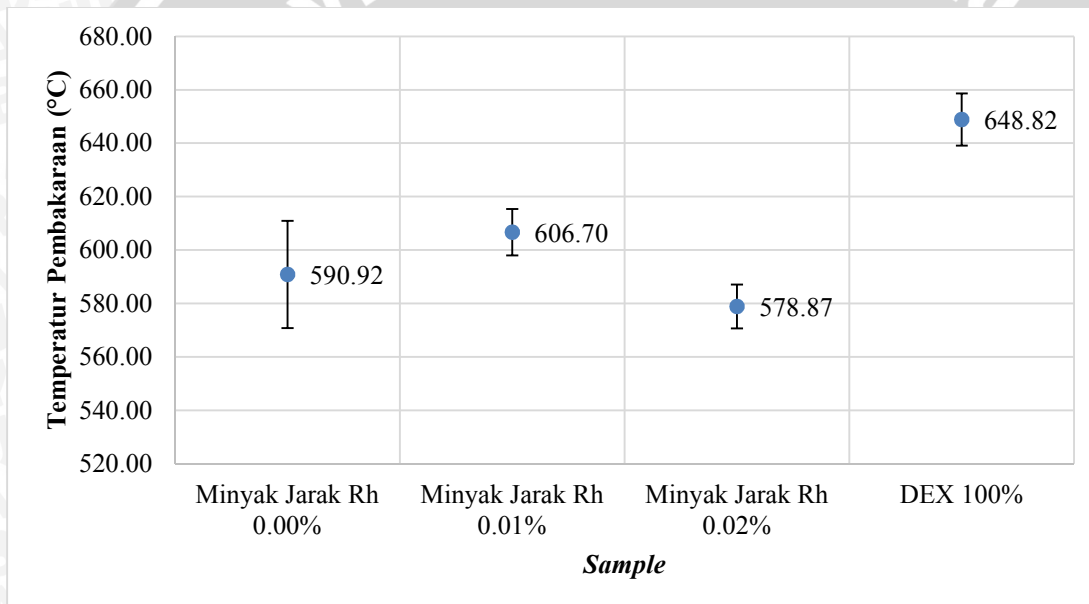
Gambar 4.23 Grafik hubungan temperatur dan waktu pada pembakaran *droplet* minyak DEX

Pada gambar 4.20, 4.21, 4.22 dan 4.23 diatas menunjukkan hubungan temperatur dan waktu pembakaran droplet pada masing-masing *sample* minyak. Pada proses pembakaran droplet terdapat tiga tahap yaitu pemanasan, evaporasi dan proses pembakaran. Pada proses pemanasan, rata-rata pada setiap minyak membutuhkan waktu 0-2 detik dan bisa dilihat terjadi peningkatan suhu yang konstan pada gambar grafik temperatur-waktu. Setelah 2 detik terjadilah evaporasi dan terjadilah pembakaran.

Pada proses evaporasi minyak jarak menandakan adanya pecahnya 2 komponen yaitu asam lemak dan glycerol. Dan dalam pembakaran, asam lemak terbakar lebih dahulu dikarenakan densitas dan viskositas dari asam lemak lebih kecil dari glycerol

(Wardana, 2009). Pada gambar diatas juga bisa dilihat adanya *micro-explosion* yang dimana ditandai oleh peningkatan temperatur secara tiba-tiba sehingga membuat dimensi meningkat secara tiba-tiba.

Bisa dilihat juga daya yang dihasilkan dari pembakaran tiap minyak akan semakin besar jika dalam mencapai temperatur tertinggi hanya membutuhkan waktu yang singkat. Sesuai dengan rumus daya yaitu Daya (P) = Energi (W) : Waktu (t). Maka dari itu minyak jarak + Rh 0.01% mempunyai daya yang besar dikarenakan mempunyai temperatur yang tinggi dan waktu pembakaran yang singkat. Dan daya yang terendah dihasilkan oleh minyak jarak + Rh 0.00% dikarenakan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai temperatur maksimal.



Gambar 4.24 Grafik pengaruh variasi penambahan Rhodium terhadap temperatur maksimal pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada Gambar 4.24 diatas adalah grafik pengaruh variasi penambahan rhodium terhadap temperatur maksimal pembakaran *droplet* minyak jarak. Yang dimana secara urut, nilai temperatur dari Minyak Jarak Rh 0,00%, Minyak Jarak Rh 0,01%, Minyak Jarak Rh 0,02% dan Minyak DEX yaitu 590,92°C, 606,70°C, 578,87°C dan 648,82°C. Minyak DEX memiliki nilai tertinggi dan Minyak Jarak Rh 0,00% memiliki nilai paling rendah.

Pengaruh katalis Rhodium dalam pembakaran minyak jarak pagar dapat menunjukkan temperatur pembakaran maksimal yang tinggi dikarenakan katalis akan mempercepatnya terjadinya reaksi sehingga gerakan antar molekul-molekul dalam

minyak jarak pagar akan semakin besar terjadinya tumbukan antar molekul bermuatan dan gerakan acak dari atom-atomnya semakin cepat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dan pembakaran yang cepat atau proses oksidasi yang cepat akan menghasilkan panas yang tinggi pula (Wardana, 2008:47).

Namun pada Minyak Jarak Rh 0,02% mengalami penurunan nilai temperatur, faktor yang pertama yaitu terlalu banyak penambahan katalis rhodium mengurangi nilai kalor dari minyak jarak pagar. Yang dimana minyak jarak pagar mempunyai nilai kalor 39662,48 kJ/kg (Zahran, 2010) dan Rhodium mempunyai nilai kalor 5148,14815 kJ/kg (Webelements, 2016). Sehingga dengan menurunnya nilai kalor dapat menurunkan temperatur pembakaran pula.

Faktor yang kedua, dikarenakan campuran rhodium yang terlalu banyak akan menurunkan nilai kalor. Dan rhodium yang terlalu banyak akan mengakibatkan panas yang dihasilkan dalam pembakaran akan tidak maksimal. dikarenakan rhodium mempunyai sifat *non-flammable* (Umicore, 2015).

Factor yang terakhir, pada minyak jarak Rh 0.02% memiliki *burning life time* yang lebih lama dibanding dengan *burning life time* dari minyak jarak Rh 0.01%. Sehingga dengan *burning life time* yang lama maka akan menurunkan temperatur pembakaran.