

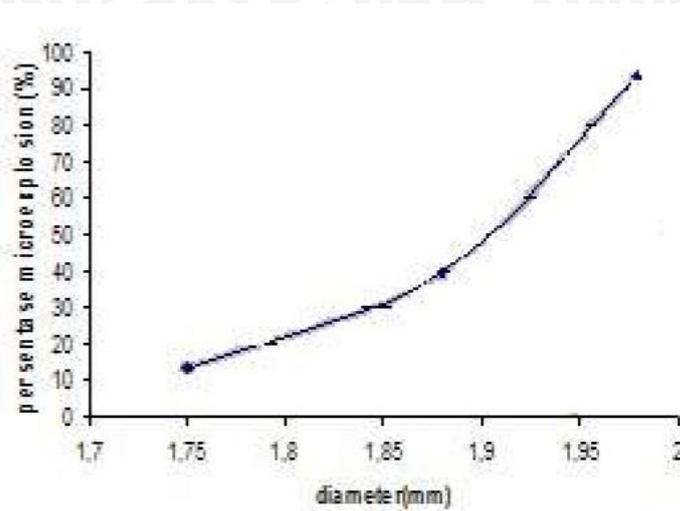
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Adapun beberapa penelitian tentang pembakaran menggunakan rhodium sebagai katalis sudah sering dilakukan. Mukhlisin (2010) melakukan eksperimen tentang pengaruh penambahan Rhodium pada motor diesel. Adapun hasil yang didapat yaitu dengan penambahan katalis Rhodium dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar motor diesel hingga mencapai 22,2%. Studi eksperimental motor diesel tersebut mengalami penghematan bahan bakar sebesar 8,88% akibat penambahan katalis Rhodium. Dari penelitian tersebut penambahan katalis Rhodium terbukti mampu mempercepat reaksi dalam proses pembakaran.

Penelitian sebelumnya juga membahas masalah diameter *droplet* dan pengaruhnya terhadap *microexplosion*. Dimana apabila ukuran diameter *droplet* semakin besar maka *microexplosion* yang terjadi semakin banyak. Hal tersebut dapat terjadi karena diameter *droplet* yang besar mengakibatkan laju pembakaran menjadi lambat oleh karena itu memberikan waktu bagi *fatty acid* untuk masuk ke dalam *glycerol* dan mengakibatkan *microexplosion*. Pada ukuran diameter *droplet* yang kecil sehingga laju pembakaran yang terjadi cepat maka *fatty acid* habis terbakar terlebih dahulu sebelum sempat masuk ke dalam *glyserol* untuk mengakibatkan *microexplosion*. Hal lain yang berpengaruh yaitu kekentalan dari *glyserol* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *fatty acid*. Apabila ukuran diameter *droplet* semakin besar maka kandungan *glyserol* juga semakin banyak. Semakin banyak kandungan *glycerol* maka memberi ruang untuk *fatty acid* masuk dan menciptakan *microexplosion* (Rosyadi, 2013).



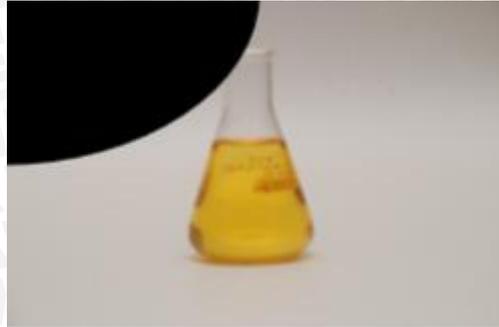
Gambar 2.1 Grafik Hubungan Intensitas *Microexplosion* terhadap Diameter *Droplet* pada Pembakaran Minyak Jarak Pagar.

Sumber : Rosyadi (2013)

2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan trigliserida yaitu ikatan asam-asam lemak jenuh dan tak jenuh. Asam lemak jenuh berantai lurus akan menjadi ester jenuh berantai lurus jika mengalami alkoholisis. Ester ini bisa berfungsi sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel (biodiesel) yang memiliki angka cetana tinggi. Tingginya angka cetana dapat mengurangi ketukan (*knocking*) pada mesin diesel. Asam lemak tak jenuh berantai panjang (seperti oleat, linoleat, linolenat) adalah komponen asam-asam lemak omega 3, 6, dan 9 yang bermanfaat untuk kesehatan. Semua minyak nabati mempunyai karakteristik sendiri, berdasarkan kadar asam lemak yang dikandung di dalamnya (Setiawardhani, 2007).

Minyak nabati pada umumnya memiliki kandungan utama yaitu senyawa gliserida dan asam lemak dengan rantai karbon yang panjang. Asam lemak yaitu asam karboksilat yang diperoleh dari hidrolisis suatu lemak atau minyak dan pada umumnya memiliki rantai karbon yang panjang dan tidak bercabang. Kebanyakan dari minyak nabati mengandung 90-98% trigliserida, yaitu tiga molekul asam lemak yang terikat pada gliserol (gambar 2.2). Semakin panjang rantai atom C asam lemak, maka titik cair akan semakin tinggi dan semakin sulit untuk terbakar. Sedangkan asam lemak yang sering ditemukan pada minyak nabati adalah asam *stereat*, *palmitat*, *oleat*, *linoleat* dan *linolenat* (Wijayanti, 2008).



Gambar 2.3 Minyak Biji Bunga Matahari
Sumber : Hemanandh (2015)

Minyak biji bunga matahari disukai karena konsentrasi asam lemak tak jenuhnya, yaitu asam lenoleatnya tinggi. Sebagai salah satu sumber minyak nabati terkandung asam lemak tinggi dengan proporsi asam lemak tak jenuh sebanyak 72% pada biji bunga matahari. Dalam memperoleh minyak dari biji bunga matahari cara yang dapat dilakukan yaitu dengan cara ekstraksi. Proses ekstraksi memerlukan data-data mengenai kondisi operasi yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas minyak biji bunga matahari yang akan dihasilkan (Pardian, 2004).

Minyak Biji bunga matahari sebagai bahan bakar memiliki komposisi kimia dan kandungan propertis seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Minyak Biji Bunga Matahari

Jenis Asam Lemak	Formula	Massa (mg)
Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	1.2025
Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	5.3313
Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	2.6153
Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	0.6119
Asam 11 Ekosenoat	$C_{20}H_{38}O_2$	0.0297
Asam Arachidat	$C_{20}H_{40}O_2$	0.0454
Asam Dokosanoat	$C_{22}H_{44}O_2$	0.1212
Asam Lignoseroat	$C_{24}H_{48}O_2$	0.04

Sumber: Parmana (2014)

Tabel 2.3 Properties Minyak Biji Bunga Matahari

NO	Nama Bahan	Flash Point (°C)	Nilai Kalori (Cal/gram)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cst)
1	Minyak Biji Bunga Matahari Degumming	134	8852.653	0.966	41.914

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2016)

2.3 Katalis

Katalis merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mempercepat laju reaksi dengan jalan menurunkan energi pengaktifan suatu reaksi. Katalis juga dapat meningkatkan laju reaksi tanpa ikut mengalami perubahan kimia secara permanen. Katalis bekerja dengan membentuk senyawa antara zat yang direaksikan. Terdapat beberapa jenis dari katalis, salah satunya adalah logam mulia seperti Platinum, Palladium, Ruthenium, Rhodium, Aurum, Argentum, baik kombinasi ataupun tunggal. Keunggulan menggunakan katalis logam mulia ini dikarenakan mempunyai tingkat aktivitas yang tinggi, selektifitas yang baik, dan daya tahan yang bagus sehingga jangka waktu pengantiannya lama. Dalam analisa kali ini penggunaan katalis Rhodium Umicore yang dicampur dengan minyak biji bunga matahari (Mukhlisin, 2010).

Pada penelitian kali ini penggunaan katalis dalam pembakaran minyak biji bunga matahari diharapkan mampu mempercepat reaksi pembakaran dan dapat menurunkan energi aktifasi pada minyak biji bunga matahari, karena kandungan asam-asam lemak tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap sehingga minyak membutuhkan energi aktifasi yang tinggi untuk memutus ikatan rangkap oleh karena itu penggunaan katalis dapat mempermudah dalam reaksi pembakaran.

2.4 Rhodium (Rh)

Rhodium adalah logam mulia memiliki nomor atom 45 yang merupakan katalis dan memiliki aktivitas tinggi dalam hidrogenasi senyawa aromatik. Katalis Rhodium memiliki aktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan katalis logam Palladium yang dapat dipakai dalam hidrogenasi olefin. Efek dari Rhodium yaitu dapat mencegah terbentuknya percampuran antara molekul Nitrogen dan Oksigen (NO, NO₂, NO₃). Logam ini juga memiliki titik cair tinggi dan berat jenis lebih rendah dibanding Platinum. Sifat lain dari Rhodium yaitu reflektif, keras dan tahan lama. Fungsi utama dari Rhodium yaitu bagian dari *alloy* dalam pengerasan Paladium dan Platina. *Alloy* jenis ini digunakan sebagai rakitan gulungan kawat koil yang terdapat pada tungku pemanas, pembuatan termokopel, *bushing* (proses terbentuknya garis silindris sebagai penahan gerakan mekanis) dalam produksi serat kaca dan elektroda dalam kabel kontak pemercik api pada pesawat terbang. Rhodium memiliki hambatan listrik yang rendah sehingga sangat berfungsi sebagai bahan

kontak listrik, hambatan kontak yang rendah dan stabil, dan juga sangat tahan korosi (Mukhlisin, 2010).

Tabel 2.4 Karakteristik Fisik Rhodium

Boiling Point:	4000K 3727°C 6741°F
Conductivity:	0
Electrical:	0.211 106/cm
Thermal:	1.5 W/cmK
Density:	12.41g/cc @ 300K
Flammability Class:	Non-combustible solid (except as dust)
Heat of Vaporization:	493kJ/mol

Sumber: Krastsvetmet (2016)

Contoh penggunaan Rhodium sebagai katalis:



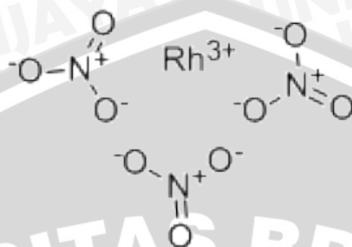
Gambar 2.4 Reaksi Rhodium sebagai Katalis

Sumber : Huw M. L. Davies & James R. Manning, 2008

Penambahan katalis Rhodium pada gambar (a), Achiral $Rh_2(esp)_2$, dikembangkan oleh Du Bois dan rekan kerja khusus untuk reaksi Nitrenoid, telah menunjukkan efisiensi yang luar biasa pada kedua reaksi intra dan antarmolekul dengan beban katalis serendah 2 mol persen. Selanjutnya dijelaskan pada gambar (b) Diastereoselektivitas yang sangat tinggi dapat dicapai dalam reaksi aminasi C-H antarmolekul ketika 'dicocokkan' reaksi yang dilakukan dengan menggunakan Sulphonamide Kiral sebagai jalan Nitrene dalam reaksi aminasi C-H antarmolekul ketika 'dicocokkan' reaksi yang dilakukan dengan menggunakan Sulphonamide Kiral sebagai katalis Kiral Rhodium 'esp' yaitu nama lain katalis (struktur yang dituliskan) TCEs, 2,2,2-trichloroethoxysulphonyl.

Dalam penelitian ini Rhodium digunakan sebagai katalis untuk pembakaran droplet minyak biji bunga matahari yang bertujuan mempercepat reaksi pembakaran dimana reaksi

pembakaran minyak biji bunga matahari membutuhkan energi aktivasi yang tinggi oleh karena itu salah satu metode yang dapat dilakukan dengan penambahan Rhodium sehingga mengakibatkan molekul–molekul pada minyak biji bunga matahari bermuatan. Rhodium yang digunakan adalah Rhodium yang sudah di larutkan atau berbentuk *liquid*. (Rhodium (III) Nitrate).



Gambar 2.5 Rhodium (III) Nitrate Solution
Sumber : Krastsvetmet (2016)

Tabel 2.5 Indikasi Rhodium

Indication	Trial Data Result
Appearance	Transparant Liquid
Mass frantion of Rhodium %	9 ±1
Mass fraction of admixtures m realtion to Rhodium % max	
Platinum,Plladium,Iridium,Rhutenium, Arsenic, Potassium(each)	0.005
Gold,Silver lead (each)	0.002
Calcium, Silicon, Aluminium (each)	0.020
Iron Magnesium (each)	0.010
Copper	0.001
Chlorine	0.200
Silver, Gold, Nickel, tin, Zinc, Magnesium, Chromium, Manganese, Stibum bismuth (sum)	0.050
Mass fraction of free nitric acid (HNO3)% mm	5.0

Sumber: Krastsvetmet (2016)

Konsep kerja Rhodium akan mengakibatkan molekul minyak biji bunga matahari lebih bermuatan dan mudah berdifusi dengan O_2 saat reaksi pembakaran. Hal ini disebabkan Rh mempunyai satu elektron yang cenderung untuk melepaskan elektronnya, elektron ini diberikan kepada O_2 karena adanya beda potensial sehingga Rh bermuatan positif dan O_2 bermuatana negatif karena Rh kehilangan satu elektronnya. Oleh karena itu Rh yang bermuatan positif akan menarik elektron ikatan rangkap minyak biji bunga matahari akibat adanya beda potensial dan minyak biji bunga matahari bermuatan negatif

kehilangan elektron sehingga minyak biji bunga matahari bermuatan positif dan O_2 disekitar minyak biji bunga matahari menjadi negatif. Perbedaan muatan inilah yang menyebabkan tarik menarik antara minyak biji bunga matahari yang positif dengan O_2 yang negatif menjadi proses pembakaran (Wardana, 2010).

2.5 *Degumming*

Proses *degumming* merupakan salah satu langkah pemurnian minyak nabati untuk mendapatkan efisiensi proses lanjutan dan mutu produk di sebut *degumming* (pemisahan *gum*). Terdapatnya *gum* pada minyak nabati menyebabkan penyumbatan aliran minyak pada penggunaan langsung sebagai bahan bakar. Proses *degumming* bertujuan agar kotoran yang terkandung dalam minyak kasar yaitu lendir atau getah yang meliputi fosfatida, protein, residu, resin, karbohidrat, dan zat-zat pengotor yang lain dapat terpisah. (Ristianingsih, 2012).

Proses *degumming* yang sering dilakukan adalah dengan penggunaan asam pekat. Dan asam yang biasanya digunakan pada proses ini ialah asam phospat (H_3PO_4) dan asam chlorida (HCl). Zat-zat tersebut akan berfungsi untuk mengendapkan dan mengumpulkan zat yang terdapat pada minyak mentah seperti getah atau lendir yang terdiri dari fosfolipida, protein, residu, karbohidrat, air, dan resin, tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas di dalam minyak. Biasanya proses ini dilakukan dengan cara penambahan asam fosfat ke dalam minyak, kemudian diaduk secara konstan sehingga akan membentuk senyawa fosfolipida yang lebih mudah terpisah dari minyak. *Degumming* mengkonversi fosfolipida menjadi *gum* terhidrasi yang tidak larut dalam minyak dan selanjutnya akan dipisahkan dengan cara filtrasi atau sentrifugasi. Proses ini akan mempermudah penghilangan *gum* pada proses penyaringan berikutnya.

2.6 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksidator, yang menghasilkan berupa panas maupun cahaya. Pembakaran adalah reaksi eksothermis, dimana reaksi ini menghasilkan panas dan dapat menjaga agar proses pembakaran itu tetap berlangsung. Panas dan cahaya yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa api, di mana api merupakan hasil dari reaksi kimia pembakaran. Agar terbentuk api, maka di saat yang bersamaan harus terdapat bahan bakar, oksigen dan energi (biasanya merupakan energi panas). Energi panas digunakan untuk memecah ikatan antara molekul bahan bakar dan oksigen, namun energi panas yang dihasilkan dari ikatan atom yang menjadi karbon

dioksida dan air akan lebih besar (Helmenstine, 2015). Energi panas yang digunakan disebut energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi minimal yang dibutuhkan untuk menggerakkan atom-atom sehingga saling bertumbukan, cukup untuk membuat atom-atom lepas ikatannya kemudian tersusun kembali menjadi suatu molekul baru (Kuo, 2005).

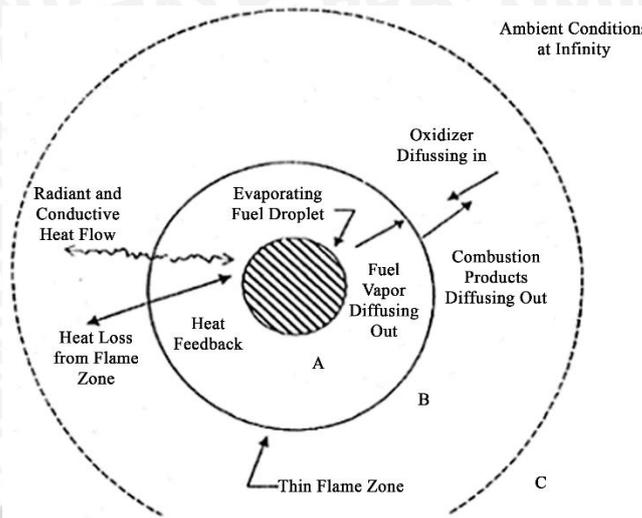
Secara umum pembakaran dibagi menjadi 2 yaitu pembakaran premiks dan pembakaran difusi.

- a. Pembakaran *premixed*, yaitu pembakaran yang proses pencampuran bahan bakar dan udara sebagai oksidator, dilakukan secara molekular sebelum pembakaran terjadi. Contoh pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran pada mesin bensin. Dimana pencampuran bahan bakar dan oksidator terjadi pada karburator atau pada *intake manifold*, kemudian campuran tersebut dibakar pada silinder mesin.
- b. Pembakaran difusi, yaitu pembakaran dimana bahan bakar dan oksidator tidak bercampur secara molekular hingga permukaan api. Pencampuran bahan bakar dan oksidator berdifusi pada zona reaksinya, yaitu permukaan api itu sendiri. Contoh dari api difusi adalah nyala api lilin dan pembakaran bahan bakar padat seperti pembakaran kayu.

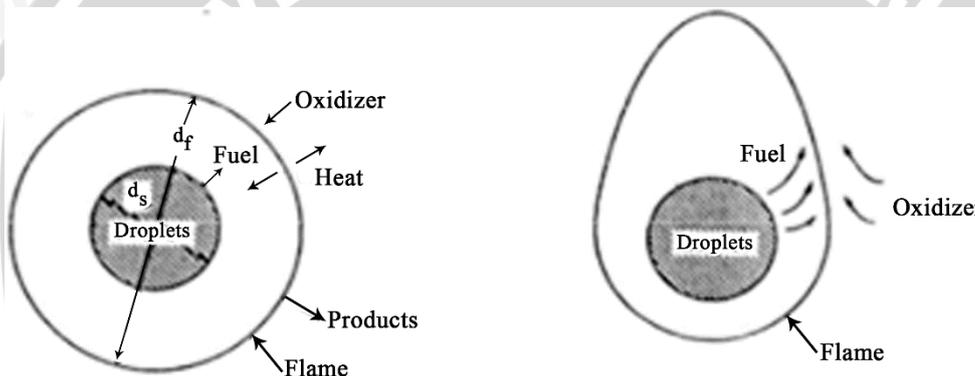
2.6.1 Pembakaran Droplet

Pembakaran *droplet* bertujuan agar dapat mengetahui secara fisik proses apa yang terjadi saat bahan bakar *droplet* terbakar. Sehingga dapat diperoleh karakteristik pembakaran dari susunan terkecil pada pembakaran *droplet*.

Pembakaran *droplet* yaitu pembakaran secara difusi, hal tersebut disebabkan oleh campuran bahan bakar dan oksidator terjadi setelah *droplet* terbakar. Saat *droplet* dipanaskan, evaporasi akan terjadi yang mana uap bahan bakar mengalami difusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga akan terbentuk api pada jarak tertentu dari permukaan *droplet*. Visualisasi api dipengaruhi akan kondisi gravitasi di sekitar *droplet*. Saat kondisi gravitasi rendah atau *microgravity*, api yang akan terbentuk yaitu lingkaran yang disebabkan karena tidak adanya gaya apung. Apabila keadaan gravitasi normal, bentuk api akan memanjang keatas disebabkan efek dari konveksi alami (Gambar 2.3)



Gambar 2.6 Model Api Difusi pada Pembakaran *Droplet*
 Sumber : Alam, 2013



Gambar 2.7 Model Nyala Api *Droplet*
 Sumber: Alam, 2013

Pada saat terjadinya proses pembakaran, panas yang dihasilkan oleh nyala api merambat keluar daerah *flame front* yang merupakan *heat loss* yang banyak dimanfaatkan untuk konversi energi. Kemudian ada panas api yang sebagian merambat menuju permukaan *droplet*. Suhu hasil pembakaran mengalami perpindahan menuju permukaan *droplet* secara konveksi. Suhu inilah yang digunakan untuk memanaskan *droplet* dan bertujuan untuk mengubah fase *droplet* cair menjadi gas. Besar energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan:

$$Q = \Delta h_v + C_{hf}(T_s - T_0) \tag{2-1}$$

Keterangan:

- Q = energi total penguapan (kj/kg)
- T_s = temperatur permukaan *droplet* (°C)
- C_{hf} = kalor jenis bahan bakar (kj/kg°C)
- Δh_v = kalor laten penguapan (kj/kg)
- T_0 = temperatur awal *droplet* (°C)

2.7 Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran yang dimaksud adalah hal-hal yang diperhatikan pada proses pembakaran, yang mana akan dibandingkan antara karakteristik suatu bahan bakar dengan penambahan persentase katalis. Karakteristik pembakaran yang diperhatikan yaitu:

a. *Ignition delay*

Ignition delay yaitu jeda waktu antara bahan bakar saat dimasukkan dalam ruang bakar, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar (Siagian, 2013). Pada pembakaran *droplet*, *ignition delay* merupakan waktu jeda antara bahan bakar mulai dipanaskan, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar atau muncul nyala api.

Ignition delay juga merupakan salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan karena apabila semakin lama waktu *ignition delay* maka bahan bakar akan semakin sulit terbakar yang akan menimbulkan *knocking* pada mesin akibat terjadinya pembakaran yang lambat. *Knocking* tersebut akan berakibat pada rusaknya mesin, terutama bagian yang berhubungan dengan piston dan ruang bakar, akan mengalami hentakan atau beban kejutan yang berlebihan.

b. *Burning rate*

Dalam mendesain suatu sistem pembakaran, maka adapun hal yang harus diperhatikan yaitu *burning lifetime* dikarenakan waktu tinggal bahan bakar *droplet* harus lebih lama daripada lama waktu *droplet* terbesar pada ruang bakar habis terbakar (Mishra, 2014). Sedangkan *burning rate* adalah kecepatan suatu bahan bakar terbakar hingga bahan bakar tersebut habis (Quintiere, 1997). Untuk mendapatkan nilai *burning rate* melalui eksperimen dapat dihitung dengan persamaan D^2 , yaitu:

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

Keterangan:

$D^2(t)$: diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

D_0 : diameter *droplet* awal (mm)

K_c : *burning rate constant* (mm^2/s)

t : *burning lifetime* (s)

c. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran yaitu temperatur tertinggi yang akan diukur pada pusat *droplet* saat proses pembakaran berlangsung. Temperatur pembakaran dipengaruhi oleh nilai kalor suatu bahan bakar. Nilai kalor yaitu jumlah energi kalor yang dilepaskan oleh bahan bakar pada saat terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang terdapat pada bahan bakar.

d. Dimensi api

Dimensi api berperan dalam penentuan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Apabila reaksi bahan bakar untuk terbakar semakin cepat, maka dimensi api akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya, jika reaksi pembakaran lambat, maka api cenderung semakin panjang dan lebar. Hal tersebut dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran maka semakin lama pula waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk dapat beroksidasi dan terbakar.

2.8 Hipotesa

Penambahan katalais Rhodium dapat menurunkan energi aktivasi sehingga bahan bakar menjadi lebih reaktif dan reaksi pada pembakaran berlangsung lebih cepat, sehingga akan mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet*.

