

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai katalis (Rhodium) telah dilakukan oleh Mukhlisin (2010), yaitu melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan katalis (Rhodium) pada kerja motor diesel. Dan hasilnya efisiensi kerja motor diesel mencapai 22,2% dan menghemat bahan bakar 8,88%. Dengan adanya penambahan Rhodium akan mempercepat reaksi pembakaran sehingga meningkatkan efisien kerja motor diesel dan menghemat bahan bakar.

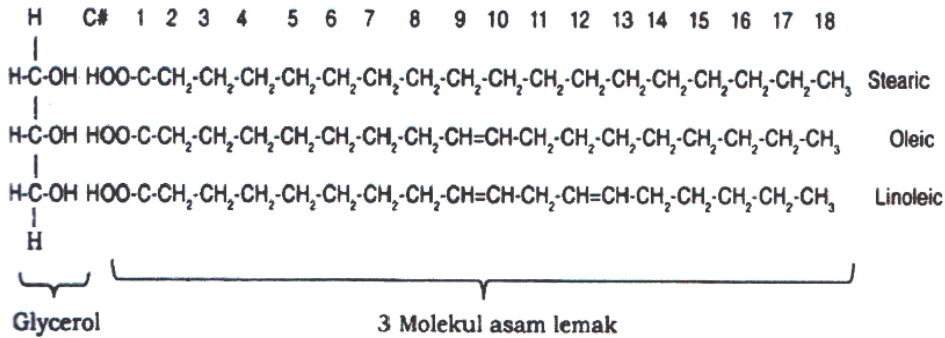
Dan penelitian mengenai pembakaran *droplet* menggunakan minyak jarak pagar pernah dilakukan oleh Wardana (2010) yaitu, mengenai karakteristik pembakaran *droplet* dari minyak jarak pagar pada variasi temperatur minyak. Dan hasilnya, peningkatan temperatur minyak jarak pagar menyebabkan viskositas dari minyak jarak pagar menurun dan meningkatkan terjadinya *micro-explosive* tanpa merubah beberapa parameter dasar pembakaran yaitu *ignition delay* dan *burning rate*. Dan juga pernah dilakukan oleh Dewi (2012), yaitu penelitian mengenai pengaruh daya penyinaran gelombang mikro terhadap karakteristik pembakaran droplet minyak jarak pagar. Yang dimana dengan meningkatkan penyinaran gelombang mikro menyebabkan menurunnya viskositas minyak jarak pagar, penurunan panjang visualisasi api, melebarnya visualisasi api, meningkatnya *burning rate* dan mempercepat munculnya *micro-explosive*. Akan tetapi tidak berpengaruh secara signifikan pada temperatur pembakaran dan *ignition delay*.

Penelitian yang dilakukan kali ini adalah memperbaiki karakteristik pembakaran pada minyak jarak pagar dengan cara menambahkan katalis berupa Rhodium.

### 2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang terbuat dari tumbuhan. Berdasarkan kegunaannya, minyak nabati dibagi menjadi dua yaitu minyak nabati yang digunakan dalam industri makanan (*edible oils*) misalnya minyak kelapa, minyak zaitun dan lain-lain. Dan minyak nabati yang digunakan dalam industri *non-makanan* (*non-edible oils*) misalnya minyak kayu putih, minyak jarak dan sebagainya. (Ketaren, 1986).

Minyak nabati tersusun dari molekul-molekul triglyceride yang terdiri dari glycerol yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (rantai utama) dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon (Wardana, 2008;37). Dan semakin panjang rantai atom C asam lemak, maka semakin sulit untuk terbakar. (Wijayanti, 2008)



Gambar 2.1 Susunan ikatan molekul trigliserida

Sumber : Wardana, 2008;38

Asam lemak merupakan senyawa alifatik asam amino karboksilat yang dapat diperoleh dari hidrolisis lemak. Asam lemak dibagi 2 yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang tidak mempunyai ikatan rangkap, contoh : Asam Stearat (C18:0). Sedangkan asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak yang mempunyai 1 atau lebih ikatan rangkap. Asam lemak tidak jenuh ini dibagi 3 yaitu :

1. Mempunyai 1 ikatan rangkap (MUFA : *Mono Unsaturated Fatty Acid*)  
Contoh : Asam Oleat (C18:1).
2. Mempunyai 2 ikatan rangkap (DUFA : *Di Unsaturated Fatty Acid*)  
Contoh : Asam Linoleat (C18:2).
3. Mempunyai lebih dari 3 ikatan rangkap (PUFA : *Poly Unsaturated Fatty Acid*)  
Contoh : Asam Linolenat (C18:3).

Minyak nabati mempunyai kemiripan dengan hydrocarbon dalam petroleum, oleh karena itu minyak nabati dipilih sebagai pengganti bahan bakar motor diesel dan minyak nabati merupakan *renewable resource*. Dan juga minyak nabati menyimpan energi dalam lemak dan minyak yang dimana energi ini akan diubah menjadi panas bahan bakar (Wardana, 2008;38).

### 2.2.1 Minyak Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar termasuk *familli Euphobiaceae*, satu *family* dengan karet dan ubi kayu. Dalam pembuatan minyak jarak pagar yang dibutuhkan adalah bijinya dengan cara pengempaan panas atau dengan ekstrasi pelarut. Minyak jarak pagar tidak dapat dikonsumsi manusia karena mengandung racun yang disebabkan adanya senyawa ester forbol (Syah, 2006), sehingga sangat disarankan untuk dijadikan minyak pengganti bahan bakar motor diesel.

Kandungan minyak jarak pagar hampir mendekati *properties* minyak solar, untuk kandungannya dari minyak jarak pagar dapat di lihat pada tabel 2.1 dan untuk perbandingan sifat fisika minyak jarak dan solar dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kandungan asam lemak pada minyak jarak pagar

Jenis Asam Lemak	Komposisi (%)
Asam palmitat	4.2
Asam stearic	6.9
Asam oleic	43.1
Asam lonileic	34.3
Asam lainnya	1.4

Sumber : Wardana, 2008;43

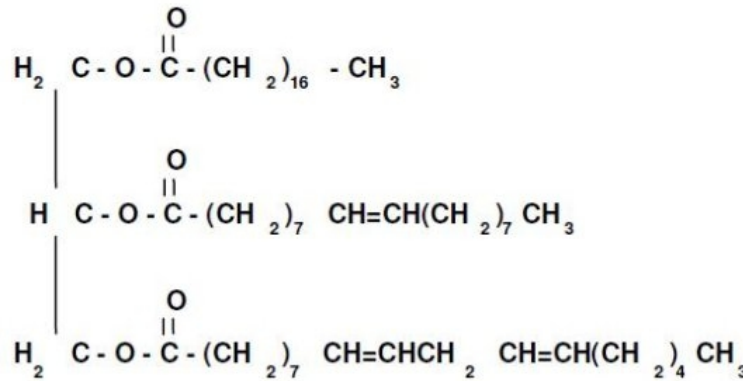
Tabel 2.2 Sifat fisik minyak jarak pagar dibandingkan solar

Parameter	Minyak Jarak Pagar	Solar
Densitas pada 15 °C (g/m <sup>3</sup> )	0,92	0,85
Viskositas pada 30 °C (cSt)	52,6	3,60
Bilangan setana	51	48
Flash point (°C)	240	80
Nilai kalor (kkal/kg)	9.470	10.170
Karbon (C)	16-18	8-10

Sumber : Wardana, 2008;43

Asam lemak yang paling dominan pada minyak jarak pagar adalah asam oleat dan asam lonileat yang merupakan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak lonileat ini

mempunyai dua ikatan rangkap, sedangkan pada asam oleat memiliki satu ikatan rangkap. Struktur kimia minyak jarak bisa dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur kimia minyak jarak pagar  
Sumber : Novo, 2009

Karena kandungan asam lonileat dan asam dan asam oleat merupakan asam lemak tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap maka untuk memutuskan ikatan rangkap ini membutuhkan energi aktivasi atau energi disosiasi yang tinggi dibandingkan ikatan tunggal. Dan juga ikatan rangkap ini membuat minyak jarak pagar sulit untuk terjadinya pembakaran.

### 2.2.2 Degumming

*Degumming* adalah proses pemisahan getah yang terdiri dari fosfatida, protein, karbohidrat dan resin tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas dalam CPO. Dengan adanya proses *degumming* dapat menurunkan nilai bilangan asam, kekentalan dan kerapatan bahan bakar. Dalam proses *degumming*, metil ester dipisahkan dari kandungan gum (getah atau lender yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat dan resin) serta pengotor lainnya yang dapat menyebabkan tingginya kekentalan dan kerapatan minyak.

Proses *degumming* dapat dilakukan dengan cara memanaskan minyak sampai  $\pm 80^\circ\text{C}$  lalu ditambahkan asam fosfat 20% sebanyak 0,3% (v/b) dan diaduk selama 15 menit. Setelah itu dilakukan pemisahan minyak dan gum menggunakan corong pisah. Kemudian minyak dicuci dengan air panas. Pencucian dan pemisahan minyak dengan air dilakukan berulang-ulang hingga air cucian terlihat jernih atau mencapai pH 6.5 – 7. Proses *degumming* pada minyak jarak pagar ini dapat mempermudah proses pembakaran.

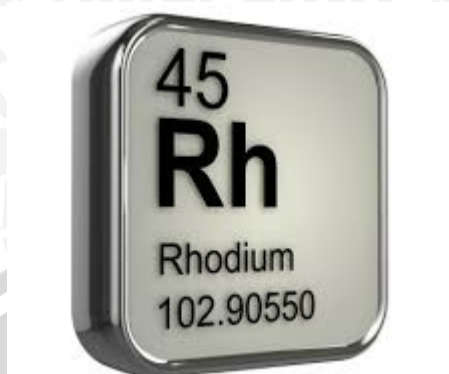
### 2.3 Katalis

Katalis merupakan suatu zat atau substansi yang dapat mempercepat reaksi (dan mengarahkan atau mengendalikannya) tanpa terkonsumsi oleh reaksi, namun bukannya tanpa bereaksi. Katalis bersifat mempengaruhi kecepatan reaksi, tanpa mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Peristiwa/fenomena/proses yang dilakukan oleh zat ini disebut katalis. Katalis dapat mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi.

Penggolongan katalis berdasarkan fasenya di dalam sistem reaksi yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen yakni jika fase katalis sama dengan fase reaktan dan fase reaksi, yang paling umum berupa fase cair dengan katalis dan reaktan berada dalam larutan. Dan katalis heterogen yakni jika fase katalis tidak sama dengan fase reaktan dan/atau fase produk reaksi, pada umumnya fase katalis padatan dan fase reaksi adalah gas.

Dalam penelitian ini pembakaran minyak jarak pagar ditambahkan katalis yang diharapkan akan mempercepat reaksi pembakaran dari minyak jarak pagar. Dan seperti diketahui bahwa minyak jarak mempunyai komposisi asam linoleat dan asam oleic yang dominan. Asam lemak tersebut mempunyai ikatan rangkap yang disebut sebagai asam lemak tak jenuh yang bersifat membutuhkan energi aktivasi yang tinggi untuk memutuskan ikatan rangkapnya, sehingga ditambahkan katalis untuk melemahkan ikatan-ikatan rangkap dari minyak jarak tersebut agar mempermudah dalam reaksi pembakaran.

### 2.3.1 Rhodium



Gambar 2.3 Rhodium  
Sumber : Wikimedia, 2016

Rhodium adalah salah satu logam mulia yang memiliki nomor atom 45 berada pada group 9 dan periode 5. Dan juga merupakan katalis yang memiliki aktivasi tinggi dalam hidrogenasi senyawa aromatik. Rhodium berwarna putih keperakan dan bila diletakkan diudara perlahan-lahan akan berubah menjadi resquioksida. Katalis ini juga memiliki aktivitas lebih tinggi dibanding katalis logam palladium yang biasa dipergunakan dalam hidrogenasi olefin. Efek dari Rhodium (Rh) adalah dapat mencegah terjadinya pencampuran antara molekul nitrogen dan oksigen. Logam ini memiliki titik cair yang tinggi dan bobot jenis yang lebih rendah dari platina.

Rhodium pada penelitian ini akan digunakan sebagai katalis minyak jarak pagar. Yang dimana kegunaan katalis di minyak jarak pagar ini untuk mempercepat reaksi pembakaran. Seperti yang diketahui minyak jarak pagar mempunyai viskositas yang tinggi sehingga dalam reaksi pembakaran akan membutuhkan energi aktivasi yang tinggi juga. Maka dari itu salah satu cara untuk mempercepat reaksi pembakaran atau untuk menurunkan energi aktivasi dari minyak jarak pagar adalah dengan membuat molekul bermuatan. Dengan memasang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis Rhodium sehingga ikatan atom akan lemah bahkan putus atau elektron dirangsang oleh katalis Rhodium supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi bermuatan dan reaktif.

Rhodium mempunyai elektron valensi 1 dan protonnya berjumlah 45, dan hal ini membuat Rhodium tidak stabil dan cenderung untuk melepaskan elektron. Dalam reaksi pembakaran, Rhodium akan cenderung memberikan elektron ke atom lain yaitu oksigen yang mempunyai potensial yang positif, sehingga oksigen kelebihan elektron sehingga

bermuatan negatif. Dikarenakan Rhodium telah memberikan elektronnya ke oksigen sehingga Rhodium akan kehilangan elektron dan bermuatan positif. Rhodium yang bermuatan positif tersebut menyebabkan proton dari Rhodium menarik ikatan elektron dari minyak jarak pagar sehingga ikatan rangkap dari minyak jarak pagar menjadi lemah.

Setelah itu, dikarenakan minyak jarak pagar kekurangan elektron dan bermuatan positif. Dan juga oksigen kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Minyak jarak yang mempunyai muatan positif dan oksigen bermuatan negatif. Maka minyak jarak dan oksigen saling tarik menarik sehingga menyebabkan reaksi pembakaran semakin cepat.

## 2.4 Pembakaran

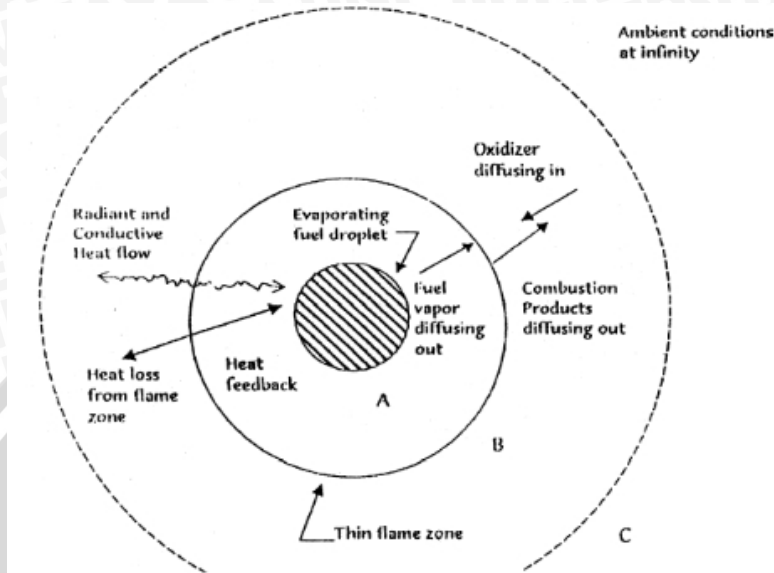
Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran bisa berlangsung jika ada bahan bakar, pengoksidasi (oksigen/udara) dan panas atau energi aktivasi. Panas atau energi disini diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi (Wardana, 2008;3).

### 2.4.1 Pembakaran *Droplet*

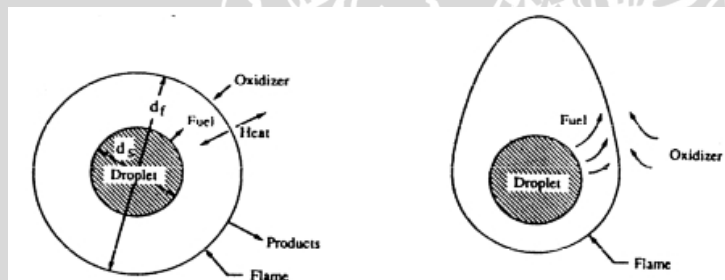
Pembakaran pada minyak jarak pagar yang ditambahkan dengan Rhodium dilakukan dengan pembakaran *droplet*, dikarenakan pembakaran menggunakan bahan bakar cair secara langsung akan menyebabkan kurang efektif kecuali diubah terlebih dahulu menjadi bentuk kumpulan *droplet* yang disebut *spray*. Pembakaran *droplet* mempunyai tujuan untuk mengetahui secara fisik proses apa yang akan terjadi saat bahan bakar *droplet* terbakar. Sehingga dapat diketahui karakteristik pembakaran dari susunan terkecil pada pembakaran *spray*.

Pembakaran *droplet* adalah jenis pembakaran difusi, hal ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dengan oksidator terjadi setelah *droplet* terbakar. Ketika *droplet* dipanaskan, maka akan terjadi evaporasi dimana uap bahan bakar akan berdifusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan *droplet* (gambar 2.4). Bentuk api akan dipengaruhi oleh kondisi gravitasi di sekitar *droplet*. Pada kondisi gravitasi yang rendah atau *microgravity*, api akan berbentuk lingkaran yang disebabkan oleh tidak adanya gaya apung. Namun pada

keadaan gravitasi normal, api akan berbentuk memanjang keatas dikarenakan efek dari konveksi alami (gambar 2.5)



Gambar 2.4 Model api difusi pada pembakaran *droplet*  
Sumber : Alam, 2011



Gambar 2.5 Model nyala api *droplet*  
Sumber : Alam, 2011

Saat proses pembakaran, panas yang dihasilkan nyala api akan merambat keluar daerah *flame front* yang merupakan *heat loss*, dan *heat loss* inilah yang banyak dimanfaatkan untuk menjadi energi lain. Kemudian ada sebagian panas api yang merambat menuju permukaan *droplet*. Temperatur hasil pembakaran akan berpindah menuju permukaan *droplet* secara konveksi. Temperatur ini digunakan untuk memanaskan *droplet* dan digunakan untuk mengubah fase *droplet* cair menjadi gas.

## 2.5 Karakteristik Pembakaran

Dalam pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dengan ditambahkan Rhodium, akan dilihat karakteristik dari nyala api sehingga dapat diketahui pengaruh dari



Rhodium dengan minyak jarak pagar. Karakteristik pembakaran yang dimaksud merupakan hal-hal yang diperhatikan pada proses pembakaran, yang nantinya akan saling dibandingkan antara karakteristik suatu bahan bakar dengan bahan bakar lain. Karakteristik pembakaran yang diperhatikan yaitu :

a. Visualisasi api

Visualisasi nyala api memiliki peran dalam menentukan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Semakin cepat reaksi bahan bakar untuk terbakar, maka dimensi api akan semakin kecil dan sebaliknya. Jika reaksi pembakaran terjadi dengan lambat, maka dimensi api cenderung semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar untuk beroksidasi dan terbakar.

Dengan adanya Rhodium menurunkan nilai dimensi api dikarenakan dengan penambahan Rhodium mempercepat terjadi proses pembakaran dan proses pembakaran yang cepat membuat dimensi dari apinya kecil. Panjang api akan berbanding terbalik dengan difusitas molecular (Wardana, 2008:190)

b. *Ignition delay*

*Ignition delay* merupakan waktu jeda antara bahan bakar saat dimasukkan dalam ruang bakar, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar (Siagian, 2013). Pada jeda waktu antara injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan munculnya titik api jika dianalisa lebih mendalam, maka bahan bakar akan mengalami proses kimia maupun fisika yang kompleks contohnya adalah atomisasi dan evaporasi bahan bakar (Raslavicius, 2010). Namun untuk pembakaran *droplet*, *ignition delay* merupakan waktu jeda antara bahan bakar mulai dipanaskan, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar atau muncul nyala api.

*Ignition delay* merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan terutama pada bahan bakar diesel. Karena semakin lama waktu *ignition delay* maka bahan bakar akan semakin sulit untuk terbakar, sehingga akan menimbulkan *knocking* pada mesin karena terjadi pembakaran yang lambat. *Knocking* akan berakibat pada rusaknya mesin karena mesin, terutama bagian berhubungan dengan piston dan ruang bakar mengalami hentakan atau beban kejut yang berlebihan.

Dalam pembakaran minyak jarak dengan Rhodium akan menunjukkan *ignition delay* yang kecil dikarenakan Rhodium akan menurunkan energi aktivasinya. Yang

dimana Rhodium memiliki aktivasi tinggi dalam reaksi adisi, yang menyebabkan ikatan rangkap kimia dari minyak jarak tersebut diubah menjadi ikatan tunggal sehingga akan menurunkan nilai energi disosiasi molekul kimia minyak jarak sehingga tidak dibutuhkan energi aktivasi yang tinggi untuk terjadi reaksi pembakaran.

c. *Burning rate*

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

$$D^2(t) = D_0^2 - K_c \cdot t \quad (\text{Mishra, 2014;34}) \quad (2-1)$$

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)

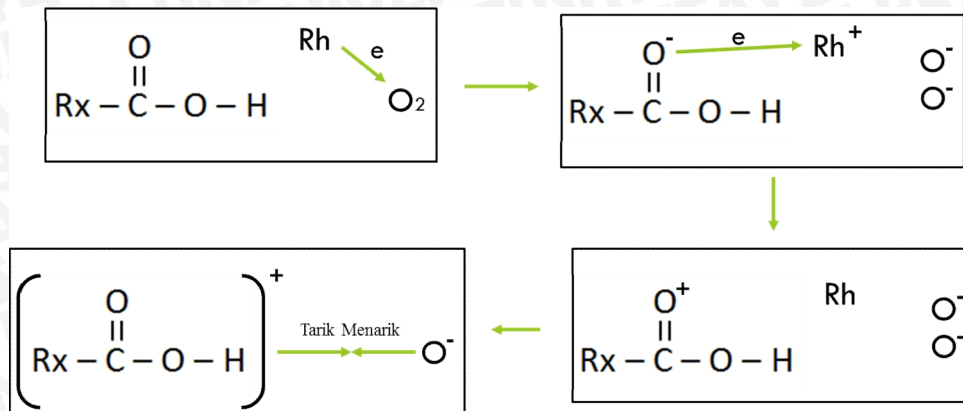
Dengan Rhodium membuat molekul minyak jarak pagar menjadi lebih bermuatan dan lebih mudah berdifusi dengan oksigen, sehingga pembakaran akan terjadi semakin cepat dan nilai *burning rate* akan tinggi.

d. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran merupakan temperatur tertinggi yang diukur pada pusat *droplet* saat pembakaran terjadi. Temperatur pembakaran dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

Dalam pembakaran minyak jarak pagar dengan penambahan Rhodium menunjukkan temperatur pembakaran yang tinggi. Rhodium mempercepat terjadinya reaksi pembakaran sehingga gerakan antar molekul-molekul dalam minyak jarak pagar semakin reaktif dan gerakan acak dari atom-atomnya semakin cepat. Temperatur pembakaran akan dipengaruhi oleh kecepatan gerak molekul.

## 2.6 Konsep



Gambar 2.6 Mekanisme kerja Rhodium terhadap minyak jarak pagar

Pembakaran droplet adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom bermuatan yang aktif kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dalam jumlah sangat besar dan cahaya.

Dalam proses pembakaran mempunyai banyak cara yang dipakai untuk melepaskan ikatan atom dalam molekul atau membuat molekul bermuatan, antara lain dengan merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan (Wardana, 2008;08).

Pada gambar 2.6 menjelaskan mengenai mekanisme pengaruh Rhodium terhadap pembakaran *droplet* pada minyak jarak pagar.

1. Rh merupakan unsur golongan 8B mempunyai elektron valensi 1 yang cenderung melepaskan elektronnya sedangkan Oksigen merupakan unsur golongan 6A yang dimana cenderung menerima elektron karena mempunyai afinitas elektron yang tinggi. Maka dari itu Rh melepaskan elektron dan diterima oleh  $O_2$ . Rh dapat menyerap  $O_2$  lebih banyak (Hagen, 2006:178).
2. Rh bermuatan positif karena kekurangan 1 elektron dan Oksigen bermuatan negatif karena kelebihan 1 elektron.
3. Minyak jarak pagar melepaskan elektron kepada Rh dikarenakan Rh mempunyai beda potensial lebih positif dibandingkan dengan minyak jarak pagar.

4. Minyak jarak pagar bermuatan positif karena kekurangan 1 elektron. Rh mereduksi ikatan double bonds dari minyak jarak pagar sehingga ikatan double bonds lemah menjadi single bonds saturated acid (Hudlicky, 1984:151). Merubah ikatan C=C menjadi C-C (Hagen, 2006:145) atau merubah poly-unsaturated menjadi mono-unsaturated (Nikolaos, 2008).
5. Minyak jarak pagar dan Oksigen mempunyai beda potensial yang mengakibatkan saling tarik menarik, sehingga tumbukan molekul lebih besar dan mempercepat terjadinya oksidasi atau pembakaran pada minyak jarak pagar. Rhodium telah meningkatkan reaksi oksidasi, menaikkan burning rate, menaikkan temperatur pembakaran dan menurunkan emisi NO<sub>x</sub> karena pembakaran lebih efektif (Yanan, 2010).

## 2.7 Hipotesis

Dengan adanya penambahan Rhodium dalam minyak jarak pagar dapat menurunkan dimensi api dan *ignition delay*. Akan tetapi akan menaikkan nilai temperatur pembakaran dan *burning rate* dikarenakan minyak jarak pagar lebih reaktif dan proses pembakarannya lebih cepat. Maka dari itu, Rhodium dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* dari minyak jarak pagar.

