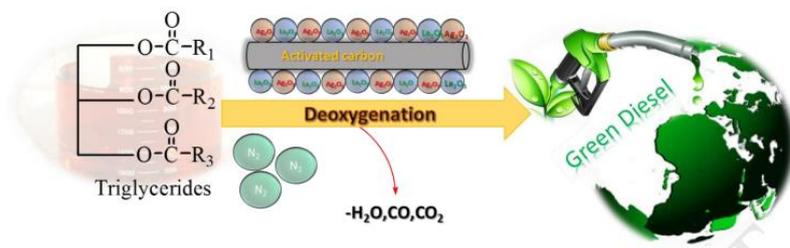


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Green Diesel

*Green diesel* adalah salah satu solusi mengatasi kebutuhan bahan bakar diesel yang semakin meningkat. *Green diesel* merupakan minyak diesel yang berasal dari hidrogenasi minyak nabati yang memiliki kualitas lebih baik dibandingkan biodiesel dan ramah lingkungan. *Green diesel* merupakan minyak diesel terbarukan yang terhidrogenasi atau disebut juga *Hydrogenated Renewable Diesel* (HRD). HRD merupakan alternatif bahan bakar yang menjanjikan karena memiliki kemiripan sifat dengan minyak diesel dari petroleum, diantaranya *cetane number* yang tinggi, jumlah kalor yang tinggi, dan ramah lingkungan dibandingkan dengan diesel yang berasal dari petroleum (Kantama, dkk., 2015).



**Gambar 2. 1** Reaksi Pembentukan Green Diesel  
(Alsultan, dkk., 2018)

Dalam proses pembuatan *green diesel*, bahan baku yang digunakan dapat berupa trigliserida maupun asam lemak bebas. Trigliserida dan asam lemak bebas masing-masing mengandung rantai alifatik hidrokarbon yang panjang. Sebagian dari rantai alifatik merupakan hidrokarbon tidak jenuh dan memiliki rentang nomor karbon maupun berat molekul yang mirip dengan bahan bakar diesel (Kalnes, dkk., 2009).



Proses ini juga bertujuan untuk menguapkan dan menghilangkan oksigen dari molekul trigliserida/FFA menggunakan reaksi katalitik hidrogenasi dengan bantuan hidrogen dan menghasilkan produk dalam bentuk parafin (Kalnes, dkk., 2009). *Green diesel* memiliki kelebihan dibandingkan biodiesel, *green diesel* lebih ramah lingkungan dan CO<sub>2</sub> yang di produksi lebih rendah daripada produksi pembuatan FAME (Holmgren, dkk., 2007).

**Tabel 2. 1 Green Diesel Fuel Properties**

	Petroleum ULSD	Biodiesel (FAME)	Green Diesel
% Oxygen	0	11	0
Specific Gravity	0,84	0,88	0,78
Sulfur (ppm)	<10	<1	<1
Cloud Point (°C)	-5	-5 to +15	-10 to +20
Distillation (°C)	200 – 350	340 – 355	265 – 320
Cetane Number	40	50 – 65	70 – 90
Stability	Baik	Kurang Baik	Baik

(Kalnes, dkk., 2007)

**Tabel 2. 2 Standar SNI 7182:2015 untuk Biodiesel**

Parameter	Nilai
Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	850 – 890
Viskositas Kinematik (mm <sup>2</sup> /s)	2,3 – 6
Kadar Air (ppm)	Max 500
Titik Nyala (°C)	Min 100

(Badan Standardisasi Nasional, 2015)

Selain dari segi lingkungan dan emisi CO<sub>2</sub>, *green diesel* memiliki beberapa keunggulan dari faktor %Oxygen, *Specific Gravity*, *Sulfur*, *Heating Value*, *Cloud Point*, *Distillation*, *Cetane Number*, dan *Stability* (Kalnes, dkk., 2007). Penggunaan *green diesel* menjadi bahan bakar dalam sektor transportasi mampu mereduksi emisi gas rumah kaca, diversifikasi sumber energi, meningkatkan keamanan energi, dan menstimulasi ekonomi maupun pertanian di perdesaan (Kalnes, dkk., 2009).

## 2.2 Crude Palm Oil (CPO)

Reeves (1979) menuliskan bahwa *Crude Palm Oil* (CPO) atau minyak kelapa sawit adalah minyak nabati edibel yang didapatkan dari mesocarp buah pohon kelapa sawit, umumnya dari spesies *Elaeis guineensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa*. Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak kelapa sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (*palm kernel oil*) yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Perbedaan ada pada warna (*palm kernel oil* tidak memiliki karotenoid sehingga tidak berwarna merah), dan kadar lemak jenuhnya (McGee, 2014).



**Gambar 2. 2** *Crude Palm Oil*

Minyak sawit kasar merupakan minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. Minyak sawit biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan, industri kosmetik, industri kimia, dan industri pakan ternak. Kebutuhan minyak sawit sebesar 90% digunakan untuk bahan pangan seperti minyak goreng, margarin, *shortening*, pengganti lemak kakao dan untuk kebutuhan industri roti, cokelat, es krim, biskuit, dan makanan ringan. Kebutuhan 10% dari minyak sawit lainnya digunakan untuk industri oleokimia yang menghasilkan asam lemak, *fatty alcohol*, gliserol, dan metil ester serta surfaktan.

Asam lemak bersama-sama dengan gliserol merupakan penyusun utama minyak nabati dan hewani. Asam lemak yang terkandung di dalam CPO sebagian besar adalah asam lemak jenuh yaitu asam palmitat. Terdapat perbedaan antara asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh, asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya sedangkan pada asam lemak tak jenuh mempunyai setidaknya satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) dari pada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah untuk bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk: *cis* yang bersifat tidak stabil dan *trans* yang bersifat stabil.

Sifat fisika-kimia minyak kelapa sawit meliputi warna, bau, *flavor*, kelarutan, titik cair dan *polymorphism*, titik didih (*boiling point*), titik nyala dan titik api, bilangan iod, dan bilangan penyabunan. Sifat ini dapat berubah tergantung dari kemurnian dan mutu minyak kelapa sawit. Beberapa sifat fisika dan kimia dari minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Sifat Fisikokimia Minyak Kelapa Sawit

Sifat Fisiko Kimia	Nilai
Trigliserida	95%
Asam Lemak Bebas (ALB)	2 – 5%
Warna	Jingga Kemerahan
Kelembaban dan Impurities	0,15 – 3,0%
Bilangan Peroksida	1 – 5,0 (meq/kg)
Bilangan Anisidin	2 – 6 (meq/kg)
Kadar $\beta$ -carotene	500 – 700 ppm
Kadar Fosfor	10 – 20 ppm
Kadar Besi	4 – 10 ppm
Kadar Tokoferols	600 – 1000 ppm
Digliserida	2 – 6%
Bilangan Asam	6,9 mg KOH/g minyak
Bilangan Penyabunan	224 – 249 mg KOH/g minyak
Bilangan Iod (wijs)	44 – 54
Titik Leleh	21 – 24°C
Indeks Refraksi (40°C)	36,0 – 37,5

(Departemen Perindustrian, 2007)

**Tabel 2. 4** Komponen Penyusun Minyak Sawit

Tipe Asam Lemak	Komposisi (%)
Asam Palmitat C <sub>16</sub>	44,3
Asam Stearat C <sub>18</sub>	4,6
Asam Miristat C <sub>14</sub>	1,0
Asam Oleat C <sub>18</sub>	38,7
Asam Linoleat C <sub>18</sub>	10,5
Asam Laurat C <sub>12</sub>	0,9

(Departemen Perindustrian, 2007)

### 2.3 Katalis Zeolit Alam

Katalis merupakan suatu materi atau bahan/zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia untuk mencapai kesetimbangan dimana katalis terlibat di dalam reaksi secara tidak permanen (Trisunaryanti, 2018).

Katalis memiliki beberapa kegunaan, diantaranya (Widi, 2018):

- Menurunkan penghalang (*barrier*) energi aktivasi ( $E_a$ ).
- Memperoleh/menghasilkan produk lebih cepat.
- Menurunkan suhu reaksi.

- Memperoleh produk metastabil (produk antara) dan bukan produk termodinamika yang disukai (produk akhir).
- Mempertahankan konstanta kesetimbangan ( $K_p$  atau  $K_c$ ) sehingga dapat mempercepat reaksi maju (ke kanan) maupun reaksi balik (ke kiri).

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak digunakan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Lestari (2010) menyatakan bahwa zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori. Zeolit terbentuk oleh tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang terisi oleh ion-ion logam, biasanya logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas.



**Gambar 2. 3** Zeolit Alam

Proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan sehingga mengalami berbagai perubahan yang menyebabkan terbentuknya zeolit alam. Zeolit merupakan produk dari gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk menjadi mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Lestari, 2010).

Zeolit alam terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu: a. Zeolit yang terdapat di antara celah batuan atau di antara lapisan batuan seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida. b. Zeolit yang berupa batuan; seperti: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabasit dan heulandit. Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam, dengan demikian harganya jauh lebih murah daripada zeolit sintetis.

Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, yaitu mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu. Proses aktivasi zeolit ditujukan untuk menghilangkan pengotor serta memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan serta keasaman dari zeolit yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat.

Salah satu kelebihan dari zeolit yaitu memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Lestari, 2010). Zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air. Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300 hingga 400°C. Pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Lestari, 2010). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori.

Zeolit banyak ditemukan dalam batuan kerangka dasar. Zeolit terdiri dari unit tetrahedral  $\text{AlO}_4^{2-}$  dan  $\text{SiO}_4^-$  yang saling berhubungan melalui atom O. Di dalam struktur,  $\text{Si}^{4+}$  dapat diganti dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali atau alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Lestari, 2010). Kerangka struktur tiga dimensi senyawa alumina silikat terdiri atas dua bagian, yaitu bagian netral dan bagian bermuatan. Bagian netral terdiri dari Si dan O, jenisnya juga bervariasi antara  $\text{SiO}_4^{4-}$  sampai  $\text{SiO}_2$ . Perbandingan antara kandungan Si dan O yaitu 1:4 sampai 1:2. Pada bagian bermuatan terdiri dari ion aluminium yang kecil dan oksigen



**Gambar 2. 4** Katalis zeolit alam setelah diaktivasi

Katalis Zeolit Alam atau  $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$  biasanya dimanfaatkan sebagai sebagai penyaring, penukar ion, adsorben dan katalis. Dalam pemakaiannya, batu zeolit alam akan di preparasi menjadi serbuk agar dapat digunakan sebagai katalis. Banyak cara dilakukan untuk meningkatkan kinerja zeolit sebagai salah satunya dengan mengaktifkan zeolit terlebih dahulu. Zeolit alam diaktivasi dengan cara diasamkan menggunakan HCl untuk melarutkan dan menghilangkan oksida-oksida logam yang menutupi permukaan zeolit dan terserap didalamnya sehingga mengakibatkan permukaan bidang kontak lebih besar dan lebih porous. Penambahan larutan basa NaOH mengakibatkan pembentukan senyawa silikat dan menyebabkan permukaan zeolit berubah menjadi lebih negatif (Wang, 2012).

## 2.4 Hidrogen

Hidrogen adalah salah satu unsur kimia yang mudah terbakar dan membentuk air ( $H_2O$ ) jika bereaksi dengan oksigen (Sikumbang, 2007). Hidrogen adalah gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak larut dalam air (Lestari, 2004). Hidrogen juga merupakan gas yang paling ringan, satu liter hidrogen pada suhu  $0^\circ C$  dan tekanan 76 cmHg beratnya hanya 0,09 gram (Sikumbang, 2007).

Menurut Jolly (2019), hidrogen memiliki inti yang terdiri dari proton yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif, serta terdiri dari tiga isotop, yakni isotop nomor satu yang dikenal dengan protium (simbol H atau  $^1H$ ), isotop nomor 2 yang dikenal dengan deuterium (simbol D atau  $^2H$ ), dan isotop nomor 3 yang dikenal dengan tritium (simbol T atau  $^3H$ ). Untuk mendapatkan hidrogen, diperlukan suatu teknologi yang tinggi karena hidrogen memiliki sifat yang mudah meledak sehingga harus disimpan pada tabung yang kuat dan aman dari kebocoran (Sikumbang, 2007).

**Tabel 2.5** Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (H<sub>2</sub>)

Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Jarak Ikatan	0,7416 Angstrom
Energi Disosiasi (25 °C)	104,19 kcal/mol
Potensial Ionisasi	15,427 Electron Volts
Densitas (Fase Padat)	0,08671 gr/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	-259,20°C
Kalor Fusi	28 cal/mol
Densitas (Fase Cair)	0,07099 gr/cm <sup>3</sup> (-252,78°C)
Titik Didih	-252,77°C
Panas Penguapan	216 cal/mol
Temperatur Kritis	-240°C
Tekanan Kritis	13,0 atm
Densitas Kritis	0,0310 gr/cm <sup>3</sup>
Panas Pembakaran	-57,796 (kcal/mol)

(Jolly, 2019)

Hidrogen dapat diproduksi melalui dua cara (Lestari, 2004), diantaranya:

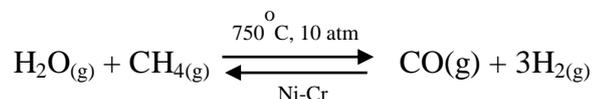
#### 1. Skala Laboratorium

Dalam skala laboratorium, hidrogen dibuat melalui reaksi asam encer dengan logam Zn atau Fe yang kemudian dielektrolisis dengan air.

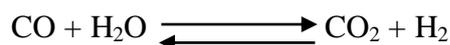


#### 2. Skala Industri

Pada kilang minyak bumi, hidrogen merupakan hasil samping dari *cracking* hidrokarbon. Gas hidrokarbon dialirkan melalui katalis panas menjadi hidrogen dan hidrokarbon lain. Dalam skala industri, reaksi dibuat bolak-balik (reversible).



Reaksi ini diikuti dengan reaksi pergeseran melalui katalis besi dan tembaga.



Gas CO<sub>2</sub> dihilangkan melalui reaksi dengan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Adapun kegunaan hidrogen adalah sebagai berikut (Lestari, 2004):

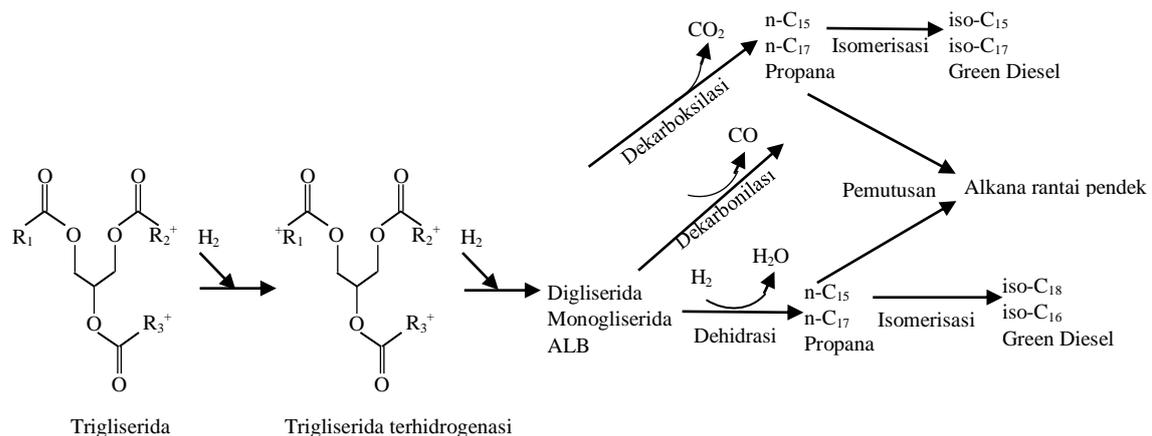
- Sebagai bahan bakar yang akan menghasilkan energi tiga kali lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh bensin pada berat yang sama.
- Digunakan untuk balon meteorologi karena merupakan gas paling ringan.

- Cairan hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar roket karena mempunyai nilai kalor pembakaran yang besar yakni 120 kJ/g.

Hidrogen mudah larut dalam berbagai senyawa alkali tanah dan transisi, terutama dengan karbon. Reaksi pembentukan senyawa yang terjadi antara karbon dan hidrogen disebut reaksi hidrogenasi. Pada reaksi ini, ikatan karbon diputuskan oleh hidrogen sampai ikatan rangkap karbon menjadi jenuh (Andhika, 2012).

## 2.5 Proses Hydrotreating

Pada pembuatan *green diesel*, reaksi yang terjadi adalah reaksi *hydrotreating*. Reaksi *hydrotreating* merupakan reaksi senyawa organik dengan proses hidredeoksigenasi. Proses hidredeoksigenasi adalah proses yang menggunakan hidrogen bertekanan tinggi untuk menghilangkan oksigen serta heteroatom lainnya, yaitu nitrogen, sulfur, dan klorin (De, dkk., 2015). Dalam proses *hydrotreating* (Gambar 2.5) terdapat dua tahapan dasar, yaitu dekomposisi trigliserida dan deoksigenasi. Dekomposisi trigliserida terutama dengan eliminasi  $\beta$  untuk menghasilkan asam lemak, dan selanjutnya deoksigenasi asam lemak menengah untuk membentuk hidrokarbon seperti diesel melalui tiga cara, yakni dekarbonilasi, dekarboksilasi, dan hidredeoksigenasi.



**Gambar 2.5** Proses *hydrotreating* trigliserida menjadi *Green Diesel* (Huber, dkk., 2007)

*Hydrotreating* sangat diperlukan, hal ini dikarenakan (Shah, 2016):

- Standar lingkungan: Setiap hari standar lingkungan yang berhubungan dengan emisi dari bahan bakar semakin ketat dan unit penyulingan berjuang

- untuk memenuhi standar tersebut. Biasanya, standar tersebut biasanya mengenai kandungan sulfur, nitrogen, aromatik, oksigen, dan lain-lain.
- b. Sifat-sifat produk: Beberapa sifat produk seperti angka cetane, titik kabut, sifat aliran dingin juga bisa dibuat sesuai spesifikasi melalui proses *hydrotreating*.
  - c. Melindungi katalis unit hilir: Banyak katalis pada unit hilir yang secara khusus sensitif terhadap kontaminan di dalam umpan. Kontaminan tersebut berpotensi menyebabkan deaktivasi sementara ataupun tetap pada katalis. Beberapa unit sensitif pada refinery yang memerlukan perlindungan adalah reformer katalitik, unit isomerisasi, dan lain-lain.
  - d. Mengoptimalkan *yield* produk: Hal ini berkaitan dengan konversi fraksi berat menjadi nafta dan diesel yaitu produk yang lebih ringan dan lebih berharga.

Variabel-variabel yang mempengaruhi hidrogenasi adalah suhu, tekanan, pengadukan, tingkat katalisasi, pemilihan katalis (O'Brien, 2004), yang dijelaskan seperti di bawah ini:

#### 1) Suhu

Seperti reaksi kimia lainnya, kenaikan suhu reaksi hidrogenasi akan mempercepat laju reaksi. Peningkatan suhu mengurangi kelarutan gas hidrogen dalam asam, sementara laju reaksi meningkat. Hal ini menyebabkan jumlah hidrogen yang diserap oleh katalis meningkat. Meningkatnya jumlah hidrogen yang diserap katalis akan meningkatkan selektivitas pembentukan isomer. Suhu optimum hidrogenasi bervariasi terhadap produk yang diinginkan, tetapi untuk lemak dan minyak suhu maksimumnya berkisar antara 230-360°C.

#### 2) Tekanan

Kebanyakan lemak dan minyak terbentuk pada tekanan hidrogenasi dengan range 0,8-4 atm. Pada tekanan yang rendah, gas hidrogen yang terlarut dalam minyak tidak menutupi permukaan katalis, hidrogen yang diserap katalis sedikit. Pada tekanan yang lebih tinggi, gas hidrogen yang diserap lebih banyak sehingga laju reaksi meningkat.

### 3) Pengadukan

Fungsi utama dari pengadukan adalah untuk mensuplai hidrogen terlarut ke permukaan katalis. Pendistribusian masa reaksi dilakukan dengan pengadukan supaya distribusi pemanasan dan pendinginan suhu dapat dikontrol sehingga suspensi katalis ke dalam lemak dan minyak menjadi seragam.

### 4) Tingkat Katalisasi

Laju hidrogenasi akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi katalis hingga titik tertentu, disebabkan kenaikan aktifitas permukaan katalis.

### 5) Pemilihan Katalis

Pemilihan katalis yang tepat membantu proses hidrogenasi dan berpengaruh kuat pada laju reaksi, selektivitas, dan geometrik isomer lemak dan minyak. Katalis terdiri dari katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen biasanya berupa cairan dan digunakan untuk enzim, sedangkan katalis heterogen berbentuk logam bubuk yang diabsorpsikan pada suatu *inert* yang digunakan sebagai katalis hidrogenasi.

### 6) Racun Katalis

Racun katalis adalah zat yang dalam jumlah sedikit dapat menghambat kerja katalis. Akibatnya secara langsung adalah dapat mengurangi konsentrasi katalis, menurunkan selektivitas, laju reaksi, serta isomerisasi yang secara tidak langsung memberikan pengaruh signifikan terhadap produk.

Tahapan pertama adalah saturasi dimana ikatan rangkap dari trigliserida menjadi ikatan tunggal karena adanya hidrogen. Selanjutnya, trigliserida yang telah terhidrogenasi terdegradasi menjadi zat antara yaitu monogliserida, digliserida, dan asam lemak bebas yang kemudian terkonversi menjadi produk terdeoksigenasi melalui tiga jalur reaksi, diantaranya dekarbonilasi, dekarboksilasi, dan hidrodeoksigenasi. Ketiga jalur ini menghasilkan produk utama berupa hidrokarbon (*green diesel*) dengan produk samping berupa CO<sub>2</sub> (dekarboksilasi), CO dan H<sub>2</sub>O (dekarbonilasi), dan H<sub>2</sub>O (hidrodeoksigenasi) (Veriansyah, dkk., 2011).

Reaksi pembuatan green diesel melalui hidrogenasi minyak nabati telah banyak diteliti antara lain percobaan hidrogenasi minyak nabati yang menghasilkan alkane. Rantai gliserol dari trigliserida dihidrogenasi menghasilkan propana dan tidak terbentuk gliserol. Minyak setara minyak diesel yang dihasilkan bukan berupa oksigenat seperti hasil transesterifikasi tapi berwarna jernih dan memiliki angka cetana yang tinggi antara 85 sampai 99 dengan reaksi fase cair.

### 2.5.1 Parameter Kualitas *Green Diesel*

Analisa yang digunakan untuk mengetahui kualitas dan kuantitas dari diesel adalah sebagai berikut :

#### a) Densitas

Berat jenis didefinisikan sebagai massa suatu bahan per satuan volume bahan dengan satuan  $\text{kg/dm}^3$ ,  $\text{gr/cm}^3$  atau  $\text{gr/ml}$ . Berat jenis mempunyai nilai yang konstan pada suatu temperatur tertentu dan tidak tergantung pada bahan cuplikan atau sampel. Berat jenis suatu zat cair dapat dihitung dengan cara menimbang berat zat cair dalam piknometer dan volume zat ditentukan berdasarkan volume piknometer.

#### b) Viskositas

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir, cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viskometer yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viskometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas termasuk sifat yang sangat penting dalam menentukan cara penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Nilai viskositas juga mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika suatu minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan pada saat pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, serta sulit untuk dialirkan.

c) Kadar Air

Kadar air minyak tungku/furnace pada saat pemasokan umumnya sangat rendah sebab produk telah disuling dalam kondisi panas. Air dapat berada dalam bentuk bebas atau emulsi. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan di bagian dalam permukaan tungku selama pembakaran terutama jika mengandung garam terlarut. Adanya air juga dapat menyebabkan percikan nyala api pada ujung *burner*, sehingga dapat mematikan nyala api, menurunkan suhu nyala api atau memperlama penyalaan.

d) Titik nyala

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

e) *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS)

*Gas Chromatography Mass Spectrometry* merupakan metode pemisahan senyawa organik yang terdiri dari dua metode analisis senyawa. Gas kromatografi berfungsi untuk menganalisa jumlah senyawa secara kuantitatif sedangkan spektrometri massa (MS) berfungsi untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Gas kromatografi menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya dan biasanya digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas. Spektroskopi massa dilakukan dengan cara mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnet seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Prinsip dari kromatografi gas ini mirip dengan distilasi fraksionasi, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan pada perbedaan titik didih (atau tekanan uap). Perbedaan antara keduanya yaitu pada distilasi fraksional biasanya digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari campuran pada skala besar, sedangkan gas kromatografi dapat digunakan pada skala yang lebih kecil (mikro) (Pavia, 2006).

