

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hubungan antara Asam Lemak dan Hidrokarbon

Sebelum ditemukan teknologi untuk mengkonversi minyak nabati menjadi biohidrokarbon, bahan bakar minyak (BBM) diibuat dengan menggunakan bahan baku minyak mentah atau minyak bumi. Pada awal abad ke-20, para ahli geologi menemukan bahwa kandungan senyawa hidrokarbon pada sedimen laut dan bahan biologis mirip dengan kandungan hidrokarbon pada minyak mentah. Dalam sistem biologi, senyawa n-parafin memiliki jumlah atom C yang lebih banyak dan massa molekular yang lebih besar dari minyak mentah (Cooper & Bray, 2018). Para ahli geologi tersebut melakukan pengecekan nilai *carbon preference index* (CPI), pada kacang jali (*barley*), biji jagung (*maize*), dan gandum (*oat*) yang kemudian diperoleh hasil bahwa nilai CPI yang diperoleh pada ketiga sampel cukup tinggi sehingga memungkinkan untuk memanfaatkan minyak dari tumbuhan sebagai bahan baku petroleum.

Asam lemak dari berbagai minyak nabati mulai banyak diteliti untuk dimodifikasi melalui berbagai macam proses *hydrotreating* agar dapat menghasilkan bahan baku petroleum yang terbaharukan. Asam lemak adalah asam karboksilat dengan rantai hidrokarbon yang panjang. Jumlah atom C pada hidrokarbon asam lemak dapat bervariasi mulai dari 10 sampai 30 atom C. Sifat molekul dari asam lemak adalah non-polar. Ada 2 macam asam lemak, yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh merupakan asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai alkilnya. Asam lemak tidak jenuh merupakan asam lemak yang memiliki setidaknya satu ikatan rangkap pada rantai alkilnya. Pada temperatur kamar, umumnya asam lemak jenuh berwujud padat sedangkan asam lemak tidak jenuh berwujud cair. Lemak hewan lebih banyak mengandung asam lemak jenuh sedangkan minyak nabati lebih banyak mengandung asam lemak tidak jenuh.

2.2 Minyak Jelantah

Minyak jelantah (*waste cooking oil*) adalah minyak limbah yang bisa berasal dari jenis - jenis minyak goreng seperti halnya minyak jagung, minyak sayur, minyak samin dan sebagainya. Minyak goreng bekas mengandung bahan kimia dengan senyawa yang bersifat karsinogenik, pada proses pemanasan atau pemakaian yang terus menerus dapat merusak kesehatan dan mengurangi kecerdasan manusia. Proses pemanasan yang terus menerus akan berpengaruh terhadap minyak goreng. Pada suhu penggorengan 200°C rantai kimia minyak akan terurai (*Department of Food Science and Technology*, 2005). Minyak goreng bekas mengandung asam lemak bebas yang tinggi antara 3% - 40% (Marchetti dkk., 2007).

Kandungan FFA dan air dalam minyak jelantah berdampak negatif terhadap reaksi transesterifikasi, karena metil ester dari gliserol menjadi susah dipisahkan, pemanasan yang terlalu lama membuat viskositas, densitas, angka penyabunan semakin tinggi sementara berat molekul dan angka iodin semakin menurun (Mahreni, 2010). Komposisi asam lemak minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

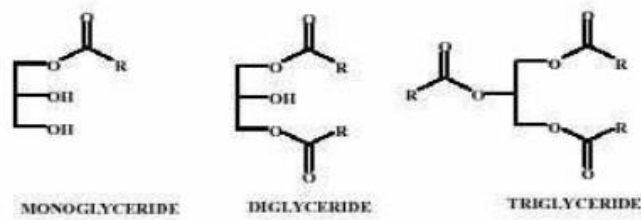
Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak Minyak Jelantah

Kriteria	Nilai (wt%)
Asam Palmitat	21,47
Asam Stearat	13
Asam Oleat	28,64
Asam Linoleat	13,58
Asam Linoleneat	1,59
Asam Miristat	3,21
Asam Laurat	1,1
Lain-lain	9,34

Sumber: (Taufiqurrahmi dkk, 2011)

Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak yang merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati. Selain trigliserida, terdapat juga monogliserida dan digliserida.

Struktur molekul dari ketiga macam gliserida tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 (Destiana. M, ITB, 2007).



Gambar 2.1 Struktur Molekul Minyak Jelantah

2.3 Katalis

2.3.1 Pengertian Katalis

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):

1. Menurunkan penghalang (*barrier*) energi aktivasi (E_a).
2. Memperoleh/menghasilkan produk lebih cepat.
3. Menurunkan suhu reaksi.
4. Memperoleh produk metastabil (produk antara) dan bukan produk termodinamika yang disukai (produk akhir).
5. Mempertahankan konstanta kesetimbangan (K_p atau K_c) sehingga dapat mempercepat reaksi maju (ke kanan) maupun reaksi balik (ke kiri).

Pada umumnya pemakaian katalis adalah untuk mempercepat laju suatu reaksi ke kanan atau ke kiri sehingga keadaan setimbang akan lebih cepat tercapai, sehingga dikenal sebagai katalis positif. Penambahan katalis juga dapat menghambat reaksi, katalis tersebut disebut katalis *negative* atau *inhibitor*. Dalam suatu reaksi ada kalanya salah satu hasil reaksi memiliki sifat katalis, sehingga katalis tersebut tidak perlu ditambahkan dari luar. Hasil reaksi yang terbentuk dengan sendirinya akan mempercepat reaksi itu, zat ini disebut *autokatalis*. Ciri khas *autokatalis* yaitu reaksi mula-mula berjalan lambat dan lama-kelamaan reaksi akan berjalan cepat karena jumlah katalis yang bertambah.

2.3.2 Klasifikasi Katalis

Material katalis sangat beragam jenisnya, tergantung dari proses reaksi kimia yang akan dikatalisasi, ukuran molekul reaktan, produk yang dikehendaki, dan kondisi reaksi katalisasi (Trisunaryanti, 2018).

Katalis diklasifikasikan menjadi 2 kategori yaitu:

1. Katalisis Homogen

Material yang digunakan pada katalisis homogen memiliki fase yang sama dengan reaktan dan produk (Widi, 2018). Menurut Trisunaryanti (2018), katalisis homogen adalah proses kimia yang melibatkan katalis dimana umpan dan katalis memiliki fase yang sama, berupa gas-gas atau cair-cair.

2. Katalis Heterogen

Katalisis heterogen merupakan proses reaksi kimia yang melibatkan katalis, dimana material katalis dan umpan (reaktan) memiliki fase yang berbeda, berupa padat-cair, padat-gas, atau gas-cair. Proses katalisis heterogen memiliki beberapa kelebihan, diantaranya memungkinkan pemisahan umpan (reaktan) dan produk dari katalis, pemahaman dan kontrol terhadap teknologi proses menjadi lebih mudah, katalis dapat diregenerasi maupun digunakan kembali, dan dapat dilakukan kontrol terhadap limbah dan komponen beracun (Widi, 2018).

2.3.3 Sifat-Sifat Katalis

Katalis bersifat spesifik, dimana katalis tertentu hanya mempercepat reaksi tertentu (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011). Pada dasarnya, sifat-sifat katalis adalah:

1. Aktifitas

Keaktifan katalis didefinisikan sebagai kemampuan dari katalis untuk dapat mengubah bahan baku menjadi produk yang dikehendaki. Keaktifan tersebut didapatkan dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi. Aktif atau tidaknya katalis tersebut dibuktikan dengan dihasilkannya produk baru yang dikehendaki (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011). Aktivitas merupakan tingkat konversi yaitu jumlah mol yang diproduksi per satuan berat dan waktu (Widi, 2018)

2. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan katalis untuk stabil menghadapi racun-racun yang mungkin dapat merusak kinerja dan bentuk dari katalis itu sendiri (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011).

3. Selektifitas

Selektifitas didefinisikan sebagai kemampuan katalis dalam menghasilkan

produk yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan suatu zat dalam suatu proses dapat berperan sebagai penghambat, termasuk katalis. Selektifitas juga berarti kemampuan suatu katalis untuk mengarahkan konversi reaktan sepanjang jalur tertentu untuk mendapatkan produk tertentu (Widi, 2018).

4. Umur Katalis

Umur katalis adalah rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011).

Masa pakai katalis pada umumnya bervariasi, mulai dari menit hingga beberapa tahun. Dengan kondisi aplikasi kimia tertentu, penting bahwa eksploitasi masa hidup katalis maksimum adalah untuk mengoperasikan katalis dalam kondisi stabil selama mungkin (Widi, 2018).

5. Regenerasi

Regenerasi merupakan sifat katalis yang dapat dibentuk kembali. Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki katalis untuk meminimumkan gangguan yang terjadi saat katalis dioperasikan (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011).

6. Luas Permukaan Katalis

Luas area permukaan katalis merupakan karakteristik utama katalis heterogen terhadap efektifitas katalitiknya. Secara umum, luas area permukaan katalis dibagi menjadi tiga kategori, yaitu (Widi, 2018):

- Luas area rendah: $<10 \text{ m}^2/\text{g}$.
- Luas area tinggi: antara $10\text{-}100 \text{ m}^2/\text{g}$.
- Luas area sangat tinggi: $>200 \text{ m}^2/\text{g}$.

Luas permukaan yang tinggi dicapai dengan salah satu dari dua cara, yaitu fase aktif dalam bentuk yang sangat berpori atau area luas permukaan inert yang tinggi dimana fase aktif terdispersi di atasnya dalam bentuk kristal kecil yang sangat banyak (Widi, 2018).

7. Kekuatan Mekanik

Kekuatan mekanik merupakan kondisi yang harus dimiliki katalis agar dapat digunakan pada proses dengan tekanan dan temperatur tinggi (Leach, 1983 dalam Tsani, 2011).

2.3.4 Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃

Katalis didefinisikan merupakan material yang berfungsi untuk mempercepat reaksi dan menurunkan energi aktivasi. Dalam proses produksi *green diesel*, tahapan *Hydroprocessing* juga memerlukan katalis, salah satunya adalah NiMo/ γ -Al₂O₃. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ terdiri dari logam metal berupa *Nickel* (Ni) dan *Molybdenum* (Mo) dan pendukung berupa γ -Al₂O₃ (Arun *et.al*, 2015). Tingkat katalisasi mempengaruhi hidrogenasi karena laju hidrogenasi akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi katalis hingga titik tertentu, disebabkan kenaikan aktifitas permukaan katalis (Andhika, R., 2012).

Beberapa penelitian menunjukkan katalis terbaik untuk mengeliminasi oksigen dan hidrogen dalam minyak dan lemak adalah NiMo/ γ -Al₂O₃ dan mampu menghasilkan *green diesel* dari minyak kastor dengan persentase yield sebesar 98% (Orozco *dkk.*, 2017). Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ memiliki ukuran pori yang lebih kecil dari katalis lainnya hingga menghasilkan persen yield C₁₈ (*green diesel*) tertinggi (Mughal, 2011), katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ menghasilkan *yield* sebesar 83% dan *index cetane* 46,5% (Setiawan, D. *et.al*, 2019), aktivasi NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan persentase yield sebesar 98% (Orozko *et.al*, 2017). Penambahan promotor pada katalis berupa K₂CO₃ dan H₃PO₄ berfungsi untuk meningkatkan aktivitas dari katalis, serta mengurangi deposit karbon (*coke removal*) yang mungkin dihasilkan oleh γ -Al₂O₃ (Hagen, 2006) sedangkan H₃PO₄ berfungsi untuk meningkatkan pusat aktif dari katalis. Promotor K₂CO₃ dan H₃PO₄ cocok untuk proses dengan temperatur tinggi, serta berfungsi untuk menetralkan pusat asam, mereduksi *coke*, dan meningkatkan dispersi *molybdenum* di dalam katalis.

Pertimbangan pemilihan pusat aktif dan penyangga katalis untuk reaksi hidrideoksigenasi adalah sebagai berikut:

1. Alumina (γ -Al₂O₃) dengan luas area spesifik 160-300 m²/g memiliki peran sebagai *support* atau penyangga katalis (Hagen, 2006). *Support* adalah suatu komponen dalam katalis yang berfungsi untuk memperbesar luas permukaan katalis dengan menyediakan permukaan pori atau sebagai cetakan bentuk katalis. Umumnya *support* γ -Al₂O₃ sering digunakan karena harganya cukup ekonomis, memiliki struktur yang stabil, dan ukuran porinya dapat divariasikan. *Support* ini relatif stabil pada temperatur tinggi, mudah dibentuk,

dan memiliki titik leleh yang cukup tinggi, serta cocok untuk reaksi yang melibatkan hidrogen karena membutuhkan luas permukaan yang besar (Zhong He, 2012).

2. Nikel (Ni) merupakan logam yang sering digunakan sebagai komponen katalis dalam berbagai macam proses *hydrotreating*. Logam ini dipilih karena memiliki titik leleh yang tinggi sehingga dapat digunakan dalam kondisi operasi yang sangat eksotermis. Penggunaan katalis dari logam non-mulia seperti Ni, Co, dan Mo, atau kombinasi dari ketiganya pada proses *hydrotreating* dapat menghasilkan *yield* terhadap produk yang diinginkan dalam jumlah yang sama atau lebih besar dibandingkan menggunakan katalis logam mulia (Dindi et al, 2008). Logam Ni lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur dekarboksilasi.
3. *Molybdenum* (Mo) pada katalis lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur hidredeoksigenasi (A. Vonortas et al, 2013). *Molybdenum* memiliki aktivitas yang rendah dalam proses hidrogenasi tetapi memiliki aktivitas yang lebih tinggi dalam proses hidredeoksigenasi.
4. Promotor adalah substansi yang tidak aktif dalam katalisis tetapi mampu meningkatkan aktivitas dari katalis. Promotor yang digunakan dalam variasi penelitian ini adalah K yang diperoleh dari K_2CO_3 atau K_2O dan P yang diperoleh dari H_3PO_4 . K_2CO_3 merupakan promotor yang paling efektif dalam menghilangkan mengurangi *deposit* karbon (*coke removal*) yang mungkin dihasilkan oleh $\gamma-Al_2O_3$ (Hagen, 2006), sedangkan H_3PO_4 berfungsi untuk meningkatkan pusat aktif dari katalis. Promotor K dan P cocok untuk proses dengan temperatur tinggi, serta berfungsi untuk menetralisasi pusat asam, mereduksi *coke*, dan meningkatkan dispersi molybdenum di dalam katalis.

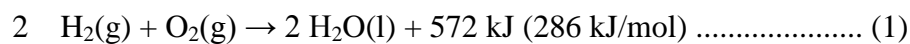
Proses sintesis katalis dilakukan dengan metode impregnasi, yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendekomposisi komponen aktif ke dalam material *support* berpori (Hagen, 2006). Komponen aktif dalam penelitian ini adalah nikel dan molibdenum, sedangkan *support* berpori yang digunakan adalah $\gamma-Al_2O_3$. Metode ini bertujuan untuk memenuhi pori dengan garam logam yang akan menjadi pusat aktif pada katalis. Larutan prekursor yang digunakan dalam sintesis katalis ini adalah *Ammonium Heptamolybdate*

Tetrahydrate dan *Nickel (II) nitrate*. Setelah proses impregnasi selesai, dilakukan proses pengeringan, dan kalsinasi (Hudaya, T dan Pandega, 2014).

2.4 Gas Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur berbentuk gas yang paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta yang telah digunakan selama bertahun-tahun sebelum akhirnya dinyatakan sebagai unsur yang unik oleh Cavendish di tahun 1776. Dinamakan hidrogen oleh Lavoisier yang berasal dari bahasa Yunani, *hydro* = air dan *genes* = pembentukan. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Hidrogen memiliki nilai pembakaran atas (*high heating value*) paling besar dari semua bahan bakar kimia (Paggiaro, 2008). Hidrogen menyimpan energi kimia sebesar 142 MJ/kg dibandingkan dengan cairan hidrokarbon yang menyimpan energi kimia sebesar 47 MJ/kg.

Pada konsentrasi rendah sekitar 4% dan suhu ruang, hidrogen dapat terbakar secara spontan bila bereaksi dengan klorin dan fluorin. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ di udara bebas. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (H₂)

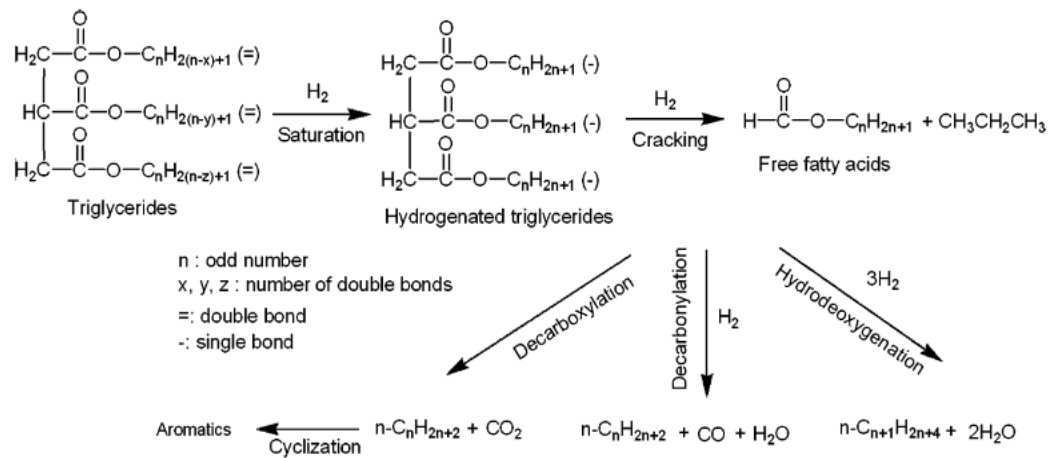
Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Jarak Ikatan	0,7416 angstrom
Energi Disosiasi (25°C)	104,19 kcal/mol
Densitas (Fase Padat)	0,08671 gr/cm ³
Titik Leleh	-259,20°C
Densitas (Fase Cair)	0,07099 gr/cm ³ (-252,78°C)
Titik Didih	-252,77°C
Panas Penguapan	216 cal/mol
Temperatur Kritis	-240°C
Tekanan Kritis	13,0 atm
Densitas Kritis	0,0310 gr/cm ³
Panas Pembakaran	-57,796 (kcal/mol)

Sumber: (Jolly, 2019)

Dalam banyak hal, hidrogen merupakan bahan bakar yang sempurna. Berjumlah melimpah, sangat efisien, dan tidak menghasilkan emisi saat terbakar, tidak beracun, dapat diproduksi dari sumber daya terbarukan, dan bukan merupakan gas rumah kaca. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi sehingga untuk mendapatkan gas hidrogen maka harus secara khusus dibuat. Gas Hidrogen biasanya dihasilkan dalam skala industri dari berbagai senyawa hidrokarbon. 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, R., 2012).

2.5 Proses *Hydrotreating*

Proses *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 S, dkk., 2015). Penggunaan gas hidrogen sangat diperlukan karena jika tidak maka akan terjadi deaktivasi katalis (Sari, 2013). Reaksi-reaksi *hydrotreating* yang utama adalah hidredeoksigenasi, dekarboksilasi, hidroisomerisasi, dan *hydrocracking*. Hidredeoksigenasi adalah suatu proses yang bertujuan menghilangkan oksigen dari suatu bahan dengan cara memotong ikatan karbon-oksigen dengan menggunakan gas hidrogen. Proses hidredeoksigenasi biasa diikuti dengan reaksi hidrogenasi, dekarboksilasi, dan dekarbonilasi, ataupun gabungan ketiganya. Dalam hidredeoksigenasi terjadi peningkatan nilai energi pada minyak dengan melepaskan gugus oksi dalam bentuk H₂O atau dalam bentuk CO₂ melalui proses dekarboksilasi. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mereduksi rasio O/C dan secara simultan meningkatkan rasio H/C (Mohammad, dkk., 2012). Reaksi *hydrotreating* trigliserida dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Reaksi *Hydrotreating* Trigliserida

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 CO₂ (dekarboksilasi), CO dan H₂O (dekarbonilasi), dan H₂O (hidrodeoksigenasi) (Veriansyah *et.al*, 2011). Selain reaksi-reaksi tersebut, terdapat reaksi samping yang tidak diinginkan. Reaksi samping ini adalah reaksi pembentuk *coke* yang dapat mendeaktivasi katalis (Madsen, 2011).

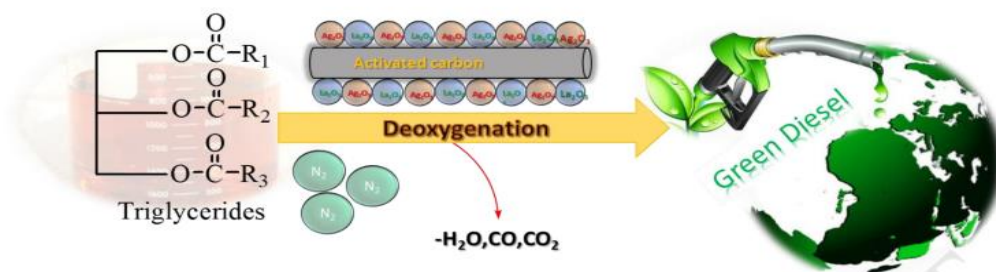
2.6 *Green Diesel*

Green diesel merupakan minyak diesel terbarukan yang terhidrogenasi sebagai 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), dan biodiesel (Holmegren *et.al*, 2007).

Green diesel juga dikenal sebagai diesel terbarukan (*renewable diesel*). *Renewable diesel* memiliki komposisi utama yang terdiri dari alkana rantai

panjang, alkana rantai pendek dan bercabang serta aromatik yang memenuhi syarat. Alkana rantai panjang memiliki angka *cetane* yang tinggi, dan angka *cetane* yang rendah untuk alkana rantai pendek dan bercabang (Patel dan Kumar, 2016). Dalam prosesnya, ikatan rangkap dan gugus oksigen yang ada dalam bahan baku dipecah dan dihilangkan dengan mengolah bahan baku dengan hidrogen di bawah suhu tinggi dengan adanya katalis dalam kilang.

Teknologi produk *green diesel* merupakan salah satu pilihan untuk memproduksi bahan bakar alternatif setingkat solar yang lebih berkualitas dan ramah lingkungan. Berbeda dengan teknologi produksi biodiesel yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi, *green Diesel* diperoleh dengan mengadopsi salah satu proses yang ada di kilang minyak bumi yakni *hydrotreating*. Proses ini dapat mentransformasi trigliserida menjadi hidrokarbon rantai panjang (C₁₅-C₁₈) dengan bantuan katalis (Ameen *et.al*, 2018). Dengan proses *hydrotreating* menggunakan katalis mampu mengubah ikatan senyawa trigliserida dalam minyak nabati menjadi senyawa hidrokarbon rantai parafinik lurus yang menyerupai struktur senyawa hidrokarbon dalam minyak solar.



Gambar 2.3 Reaksi Pembentukan *Green Diesel*

Sumber: Alsultan *et.al* (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 *et.al*, 2009).

Green diesel memiliki kelebihan dibandingkan biodiesel (FAME). Kelebihan *green diesel* atau biodiesel G2 ini mampu mencapai bilangan *cetane*

55-90 jauh lebih tinggi dari capaian biodiesel G1 yang hanya 40-45, sehingga minyak yang dihasilkan dapat langsung dipakai sebagai bahan bakar mesin diesel tanpa harus ditambahkan dengan solar bahkan tanpa harus melakukan modifikasi mesin dan *green diesel* lebih ramah lingkungan dan CO₂ yang di produksi dari proses pembuatan *green diesel* lebih rendah daripada produksi pembuatan FAME (Holmgren *et.al*, 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 *et.al*, 2009).

Karakteristik sifat fisik dan kimia biodiesel dan *Green Diesel* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Biodiesel dan *Green Diesel*

Parameter	Biodiesel	<i>Green Diesel</i>
	<i>European Standard</i> EN14214/A2:2018	<i>European Standard</i> EN15940:2016/A1:2018
<i>Cetane Number</i> (CN)	min 51	min 70
<i>Density</i> (kg/m ³)	860-890	765-800
<i>Viscosity</i> (mm ² /s)	3,5-5,0	2-4,5
<i>Flash Point</i> (°C)	min 101	min 55
<i>Water Content</i> (ppm)	Maks 500	Maks 200
<i>Heating Value</i> (MJ/kg)	37,2	43,70-44,5

Sumber : (Savvas L. Douvartzides, dkk. 2019)