

BAB II

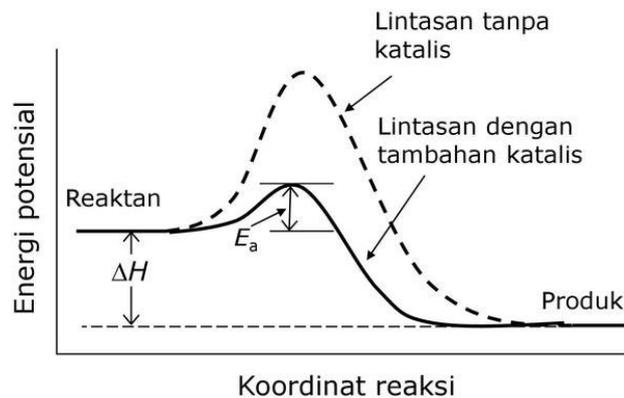
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katalis

2.1.1 Pengertian Katalis

Istilah katalisis diperkenalkan oleh Berzelius lebih dari 150 tahun yang lalu. 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 (Othman, 2019). Katalis tidak merubah konstanta kesetimbangan reaksi, katalis hanya mempercepat laju reaksi, tidak memulai reaksi yang secara termodinamika tidak dapat berlangsung. Salah satu kegunaan katalis menurunkan penghalang (*barrier*) energi aktivasi (E_a) (Widi, 2018). Energi aktivasi berfungsi memutuskan ikatan-ikatan pada reaktan sehingga akan terbentuk ikatan baru pada hasil reaksi (Suarsa, 2017).

Energi aktivasi yang rendah akan menyebabkan lebih banyak partikel yang memiliki energi kinetik yang cukup untuk mengatasi rendahnya halangan energi aktivasi ini, mengakibatkan jumlah tumbukan efektif akan bertambah banyak, sehingga laju reaksi juga akan meningkat. Zat yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi disebut katalisator, sedangkan zat yang berfungsi untuk memperlambat laju reaksi secara umum disebut Inhibitor (Suarsa, 2017). Pada Gambar 2.1 dapat diketahui bagaimana kinerja katalis sehingga dapat mempercepat laju reaksi.



Gambar 2.1 Reaksi tanpa katalis dan dengan katalis (Suarsa, 2017)

Proses reaksi tanpa menggunakan katalis digambarkan dengan kurva puncak yang tinggi sedangkan menggunakan katalis menjadi kurva dengan puncak yang rendah, sehingga energi aktivasi pada reaksi dengan menggunakan katalis lebih rendah daripada energi aktivasi pada reaksi tanpa menggunakan katalis. Katalis bekerja dengan meningkatkan frekuensi tumbukan antar reaktan, mengubah arah tumbukan reaktan sehingga memperbanyak jumlah tumbukan efektif, menurunkan ikatan intermolekuler antara molekul reaktan. Ketika reaksi sedang berlangsung akan terbentuk zat kompleks teraktivasi dan letaknya berada pada puncak energi. Jika reaksi dapat terjadi, maka penguraian zat kompleks teraktivasi akan memberikan zat hasil reaksi (Suarsa, 2017).

2.1.2 Klasifikasi Katalis

Katalis sangat penting dalam proses skala besar untuk konversi bahan kimia, bahan bakar, dan polutan. Katalis terdiri dari beberapa komponen dan fase. 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 (Othman, 2019) :

- Katalisis Homogen

Jika katalis dan reaktan atau larutannya membentuk fasa fisika yang sama, maka reaksi tersebut disebut katalis homogen. Garam logam dari asam organik, kompleks organologam adalah katalis homogen

- Katalis Heterogen

Material katalis heterogen adalah katalis yang materialnya tersusun dari dua atau lebih komponen atau katalis sistem logam/pengemban, terdiri dari katalis:

- a. Logam dan oksidanya/pengemban amorf : NiMo/Al₂O₃ Ni/alumina-silika, Pd/alumina-silika dan lain-lain.
- b. Logam dan oksidanya/Pengemban kristalin: Pt/Zeolit, Pd/Zeolit, Ni/Zeolit, Ni/MCM-41, Fe₂O₃/clay dan lain-lain (Trisunaryanti, 2018).

Mekanisme yang terjadi pada katalis heterogen, melibatkan proses adsorpsi dan desorpsi. 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).

2.1.3 Sifat-Sifat Katalis

Pada dasarnya, sifat-sifat katalis sebagai berikut (Lestari, 2020) :

1. Aktifitas

Aktifitas merupakan kemampuan katalis untuk mengonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.

2. Selektifitas

Selektifitas merupakan kemampuan katalis mempercepat suatu reaksi di antara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk samping seminimal mungkin.

3. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan katalis untuk menghadapi racun-racun yang dapat merusak kinerja katalis.

4. Umur Katalis

Umur katalis merupakan rentang waktu katalis untuk bertahan pada level sesuai kinerja yang diinginkan.

5. Regenerasi

Regenerasi merupakan proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula.

6. Luas Permukaan Katalis

Luas area permukaan katalis merupakan karakteristik utama katalis heterogen terhadap efektifitas katalitiknya. Secara umum, luas area permukaan katalis dibagimenjadi 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 faseaktif 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.

7. Kekuatan Mekanik

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

2.1.4 Komponen-Komponen Katalis

Beberapa bahan katalis pada umumnya tersusun dari zat tunggal, namun kebanyakan katalis memiliki tiga komponen yaitu utama (Widi, 2018):

1. Komponen Aktif

Komponen aktif berperan untuk reaksi kimia yang komponen aktif merupakan inti katalis yang bertugas mempercepat dan mengarahkan reaksi sehingga komponen ini harus aktif mengkonversikan reaktan dan selektif dalam pembentukan produk. Luas permukaan menurun seiring dengan meningkatnya ukuran kristal. Maka untuk memperoleh aktivitas maksimum dimana membutuhkan luas permukaan maksimum, maka perlu memiliki kristal katalis sekecil mungkin.

2. Pengemban/Penyangga (*Support*)

Penyangga berfungsi sebagai tempat penebaran komponen aktif dengan tujuan memperluas kontak antara komponen aktif dengan reaktan tanpa mengurangi aktivitas komponen itu sendiri. Penyangga dapat memberi celah fisik antara kristal komponen aktif katalis sehingga menghambat terjadinya *sintering*.

Menurut Widi (2018), penyangga memiliki banyak fungsi, diantaranya:

- Mempertahankan luas permukaan komponen aktif tetap tinggi.
- Menciptakan permukaan yang stabil dimana komponen aktif terdispersi sedemikian rupa sehingga *sintering* tidak terjadi.
- Berdampak pada stabilitas termal dan kekuatan mekanik partikel katalis.
- Inert dan memberikan efek terhadap porositas

3. Promotor

Promotor merupakan zat yang dapat meningkatkan aktivitas katalis dengan peningkatan simultan dalam selektivitas atau efek stabilitas dan promotor dirancang untuk membantu pengemban dan komponen aktif (Widi, 2018). Promotor ditambahkan untuk meningkatkan kinerja katalis dalam jumlah kecil saat pembuatan katalis. Dengan adanya promotor, pengemban terlindungi dari segala gangguan dan perubahan jangka panjang, serta menghambat aktivitas yang tidak diinginkan seperti pembentukan kokas. Penambahan promotor direkomendasikan untuk menekan endapan *coke* pada permukaan katalis dan meningkatkan aktivitas katalis (Sangnikul dkk, 2019).

2.1.5 Pembuatan Katalis (Reza dan Novenia, 2017)

- a. Presipitasi merupakan metode yang paling umum digunakan pada proses pembuatan katalis. Metode presipitasi dilakukan dengan cara zat aktif dilarutkan ke dalam pelarut, lalu ditambahkan larutan yang bukan pelarut (anti-solvent), hal ini menyebabkan larutan menjadi jenuh dan terjadi nukleasi yang cepat sehingga membentuk. Faktor – faktor yang berpengaruh terhadap proses presipitasi adalah temperatur presipitasi, pengadukan, dan aging.
- b. Metode Impregnasi Metode impregnasi dilakukan dengan mengkontakkan support yang poros dengan larutan yang terdiri dari satu atau lebih garam logam yang memiliki konsentrasi tertentu bertujuan untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi precursor menjadi spesi aktif. Terdapat dua metode impregnasi, yaitu :
 - Impregnasi basah (*wet impregnation*), pada impregnasi basah ,jumlah larutan precursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga.

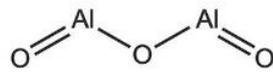
- Impregnasi Kering (*incipient wetness impregnation*). Pada metode ini, jumlah larutan precursor aktif (impregnan) yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga.

2.1.6 Modifikasi Katalis

Pada penelitian ini digunakan katalis Ni-Mo/ γ -Al₂O₃. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ terdiri dari logam metal berupa *Nickel* (Ni) dan *Molybdenum* (Mo) sebagai komponen aktif, γ -Al₂O₃ sebagai *support* dan K₂CO₃ dan H₃PO₄ sebagai promotor. Katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ memiliki ukuran pori yang lebih kecil dari katalis lainnya hingga menghasilkan persen *yield* C₁₈ (*green diesel*) tertinggi (Mughal, 2011).

1. Nikel (Ni) merupakan logam putih perak yang keras, sering digunakan sebagai komponen katalis dalam berbagai macam proses *hydrotreating*. Logam ini dipilih karena memiliki titik leleh yang tinggi (1455°C) 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 dkk, 2008). Logam Ni lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur dekarboksilasi. Beberapa contoh nikel yang dapat digunakan sebagai katalis seperti Ni₃O₄, Ni(NO₃)₂.6H₂O, NiSO₄.7H₂O, NiCO₃, Nikel Format, Nikel Klorida dan lain lain (Tsani, 2011).
2. *Molybdenum* (Mo) dalam table periodic termasuk golongan VIB dengan nomor atom 42, berwarna putih silver. Mo merupakan salah satu dari logam refraktori, yaitu logam dengan ketahanan panas yang tinggi dan tahan lama. Pada katalis lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur hidredeoksigenasi (Vonortas dkk, 2013). Potensi aplikasi Mo yang besar disebabkan oleh titik leleh yang tinggi (2.623°C), tahan oksidasi intrinsik, massa jenis relatif rendah dan konduktivitas termal yang tinggi (Shields, 2013) sehingga digunakan dalam proses *hydrotreating*.

3. Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara alami, alumina terdiri dari mineral korondum, dan memiliki bentuk kristal. Aluminium oksida tergolong salah satu jenis keramik oksida atau keramik teknik salah satu aplikasinya dalam kimia katalis dengan luas area spesifik $160\text{-}300\text{ m}^2/\text{g}$ (Hagen, 2006). Berdasarkan struktur kristalnya dapat digolongkan menjadi α , β , γ , δ , θ , κ , dan χ (Grigoriev dan Kulkov, 2016) dan memiliki sifat fisik yang berbeda. Alumina yang banyak digunakan sebagai penyangga katalis diantaranya yaitu α - dan γ - Al_2O_3 . Struktur molekul Al_2O_3 dapat dilihat pada Gambar 2.2.

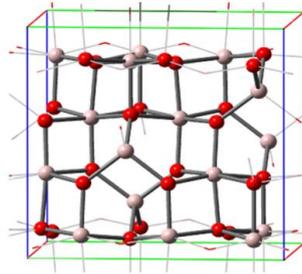


Gambar 2.2 Struktur Molekul Al_2O_3 (Edgar, 2013)

Alumina merupakan senyawa berpori sehingga dimanfaatkan sebagai adsorben, memiliki daya tahan terhadap korosi (Mirjalili dkk, 2011) dan titik lebur yang tinggi, yakni mencapai $2053\text{-}2072\text{ }^\circ\text{C}$. Diantara struktur transisi tersebut fasa γ - Al_2O_3 merupakan material yang paling luas digunakan sebagai substrat katalis dalam otomotif dan industri petroleum serta dapat berfungsi sebagai pelapis tahan panas. Hal ini dikarenakan γ - Al_2O_3 memiliki struktur kubik yang higroskopis dan larut dalam asam, sedangkan α - Al_2O_3 memiliki struktur oktahedral seperti corundum/sapphire yang sangat keras karena memiliki sifat kesetabilan yang sangat tinggi sehingga tidak mudah larut dalam asam (Yanuar dkk, 2018).

4. Gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) merupakan alumina transisi yang berbentuk padatan amorphous, yang memiliki luas permukaan sekitar $250\text{-}350\text{ m}^2/\text{g}$. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk melalui dehidrasi termal pada temperature $500\text{-}750$ dari precursor amorf, yang sangat berpotensi sebagai adsorben, katalis dan

penyangga (khairani dkk, 2016). Struktur molekul $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Molekul $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Gu dkk, 2018)

Sifat kimia $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ diidentifikasi dengan pusat asam. Tipe pusat asam yang muncul di permukaan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dapat berupa pusat asam *Brönsted* (Al-OH) (Ulfah dan Subagjo, 2012). Gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) mempunyai struktur spinel dimana 32 atom oksigen dan membentuk kemasan kubus terjejal. Ukuran atom oksigen yang lebih besar dari atom alumina membuat atom alumina berada pada posisi tetrahedral dan oktahedral. Pada posisi tetrahedral, atom alumina dikelilingi oleh 4 atom oksigen. Sementara pada posisi oktahedra, atom alumina dikelilingi oleh 6 atom oksigen (Reza dan Novenia, 2017).

- Promotor K_2CO_3 merupakan promotor yang paling efektif dalam menghilangkan mengurangi *deposit* karbon (*coke removal*) yang mungkin dihasilkan oleh $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Hagen, 2006). Selama proses aktivasi, K_2CO_3 terlebih dahulu terurai menjadi CO_2 dan K_2O pada persamaan berikut:

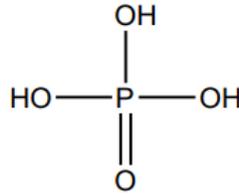


Selanjutnya, kalium dibentuk melalui reaksi redoks yang ditunjukkan sebagai berikut:



- Promotor H_3PO_4 berfungsi untuk meningkatkan pusat aktif dari katalis. Asam fosfat juga dikenal sebagai asam ortofosfat atau asam fosfat(V). Asam fosfat berwujud zat padat dengan titik didih 280°C dan titik leleh $44,1^\circ\text{C}$. Asam fosfat ditambahkan dengan tujuan untuk memodifikasi

keasaman permukaan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Ulfah dan Subagjo, 2012). Struktur asam fosfat dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur Molekul Asam Fosfat (Warlinda dan Zainul, 2019)

Asam fosfat dapat bersenyawa dengan logam aktif, seperti alkali dan alkali tanah, membentuk senyawa ion. Senyawa ionik asam fosfat mengalami interaksi antar ion dalam sistem larutan, baik antara sesama ion maupun dengan ion yang lain (Warlinda dan Zainul, 2019).

2.2 *Crude Palm Oil (CPO)*

Minyak yang dihasilkan dari daging buah sawit berupa minyak kasar atau minyak sawit mentah disebut juga *Crude Palm Oil (CPO)*. Proses awal dimulai dengan penyiapan bahan baku TBS yang diambil dari perkebunan sawit. Pengolahan pertama yaitu proses perebusan, pemisahan daging buah dan biji. Selanjutnya proses pengadukan dan pelumatan buah lebih lanjut akan menghasilkan bubur buah yang mengandung minyak. Kemudian dilakukan pemisahan kotoran seperti serabut, pasir, tanah, kotoran-kotoran lain yang terbawa dengan minyak. Tahap akhir adalah pemisahan lumpur, air dan CPO menggunakan *vacum dryer* (Larasati, 2016).



Gambar 2.5 *Crude Palm Oil (CPO)*

CPO memiliki warna oranye-merah tua terlihat pada Gambar 2.5 disebabkan oleh kandungan karotenoid nya terutama betakaroten yang tinggi. Fungsi beta karoten serta provitamin A juga berperan sebagai antioksidan dalam

tubuh, baik secara tunggal maupun bersama-sama dengan senyawa karotenoid lain seperti likopen, lutein, dan lain-lain. CPO merupakan minyak sawit sedangkan PKO merupakan minyak inti sawit. Berdasarkan komposisi asam lemaknya, lebih dari 95% minyak sawit terdiri dari campuran trigliserida yang tersusun dari deretan asam lemak. Asam lemak utama dalam minyak sawit adalah mirisat, palmitat, stearat, oleat dan linoleat dan sebagian besar asam lemak hadir sebagai trigliserida. Komposisi asam lemak CPO dan PKO dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Standar Mutu CPO pada table 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak CPO dan PKO

Asam Lemak	CPO (%)	PKO (%)
Asam Kaprilat	-	3 – 4
Asam Kaproat	-	3 – 7
Asam Laurat	-	46 – 52
Asam Mirisat	1,1 – 2,5	14 – 17
Asam palmitat	40 – 46	6,5 – 9
Asam Stearat	3,6 – 4,7	1 – 2,5
Asam Oleat	39 – 45	13 – 19
Asam Linoleat	7 – 11	0,5 – 2

(Quality Assurance PT.SAP, 2020)

Tabel 2.2 Standar Mutu *Crude Palm Oil*

Spesifikasi	Target
% FFA	Max 5.0
% Moisture	Max 0.5
Iodine Value	Min 51
DOBI	Min 2.0
Karoten	Min 350
Anisidine Value	Max 5.0
POV	Max 5.0

(Quality Assurance PT.SAP, 2020)

2.3 Gas Hidrogen

Hidrogen adalah unsur paling ringan dan paling banyak di alam semesta, dan salah satu komponen utama bintang dan gas antar bintang. Analisa astronomi yang dilakukan pada cahaya yang ditransmisikan oleh bintang terdekat, matahari, menunjukkan bahwa sekitar 75% masanya tersusun atas hidrogen. Hidrogen juga merupakan salah satu unsur yang melimpah di bumi dan dapat dijumpai dalam berbagai macam molekul organik dan anorganik seperti air, hidrokarbon, karbohidrat, asam amino, dll (Setiawan, 2020).

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) (Jolly, 2019). Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (H_2)

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 ³
Titik Leleh	-259,20°C
Kalor Fusi	28 cal/mol
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)

(Jolly, 2019)

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). Secara komersial, Hidrogen digunakan dalam berbagai macam proses antara lain (Setiawan, 2020) :

- Untuk memproses bahan bakar fosil dan mensintesa amoniak.
- Untuk proses hidrogenasi lemak dan minyak, hidrodealkilasi, perengkahan hidro, dan hidrodessulfurisasi.
- Untuk membuat bahan bakar roket, mengisi balon, membuat sel bahan bakar (fuel cell)
- Untuk membuat asam klorida dan mereduksi biji logam.
- Untuk proses pengelasan

Hidrogenasi adalah reaksi yang terjadi antara molekul hidrogen (H_2) dengan senyawa kimia lain dimana berfungsi untuk memutus ikatan rangkap yang terdapat dalam senyawa tersebut (Amalia dkk, 2019). Reaksi hidrogenasi tidak akan berlangsung tanpa bantuan katalis (Bustan dan Haryati, 2016). Secara termodinamika, reaksi ini lebih disukai karena reaksi ini akan membentuk produk yang lebih stabil.

2.4 Proses *Hydrotreating*

Proses *hydrotreating* merupakan reaksi senyawa organik dengan proses hidrodoksigenasi. Proses hidrodoksigenasi 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). Prinsip dari proses ini adalah penjumlahan ikatan rangkap rangkap menjadi ikatan tunggal. Proses hidrogenasi dapat membuat minyak menjadi stabil dan mencegah pembusukan. Variabel-variabel yang mempengaruhi hidrogenasi sebagai berikut (Hudaya dan Wiratama, 2015) :

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. Sedangkan 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.

Reaksi-reaksi *hydrotreating* yang utama adalah hidrodeoksigenasi, dekarboksilasi, hidroisomerisasi, dan *hydrocracking*. Hidrodeoksigenasi adalah suatu proses yang bertujuan menghilangkan oksigen dari suatu bahan dengan cara memotong ikatan karbon-oksigen dengan menggunakan gas hidrogen. Proses hidrodeoksigenasi biasa diikuti dengan reaksi hidrogenasi, dekarboksilasi, dan dekarbonilasi, ataupun gabungan ketiganya. Dalam hidrodeoksigenasi terjadi peningkatan nilai energi pada minyak dengan melepaskan gugus oksidasi 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).

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 *hydrotreating* menghasilkan produk utama berupa hidrokarbon (*green diesel*) dengan produk samping berupa CO₂ (dekarboksilasi), CO dan H₂O (dekarbonilasi), dan H₂O (hidrodeoksigenasi) (Veriansyah dkk, 2011). Selain reaksi-reaksi tersebut, terdapat reaksi samping yang tidak diinginkan. Reaksi samping ini adalah reaksi pembentuk *coke* yang dapat mendeaktivasi katalis (Madsen, 2011).

2.5 *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 dkk, 2007). *Green Diesel* diperoleh dengan mengadopsi salah satu proses yang ada di kilang minyak bumi yakni *hydrotreating*. Proses dapat mentransformasi trigliserida menjadi hidrokarbon rantai panjang (C₁₅-C₁₈) dengan bantuan katalis (Ameen dkk,

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. Sifat Fisik dan Kimia Biodiesel dan *Green Diesel* dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia Biodiesel dan *Green Diesel*

Parameter	Biodiesel	<i>Green Diesel</i>
	<i>European Standard</i>	<i>European Standard</i>
	EN14214/A2:2018	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

(Douvartzides dkk, 2019)