

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katalis

Katalis didefinisikan sebagai sesuatu yang mengakibatkan reaksi lebih cepat mencapai kesetimbangan tetapi tidak mengubah tetapan kesetimbangan (Supeno, 2009). Istilah katalis pertama kali diperkenalkan oleh *Jacob Berzelius* pada tahun 1835. Istilah ini digunakan untuk menerangkan suatu fenomena yang diperolehnya yaitu adanya sejumlah zat asing yang ditambahkan pada suatu campuran reaksi yang dapat membuat reaksi tersebut berjalan dengan cepat. Penambahan katalis pada suatu reaksi kimia bertujuan untuk mempercepat reaksi. Di dalam industri, pemakaian katalis sangat penting karena akan meningkatkan produk dan mengurangi biaya produksi (Fogler, 1994).

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 (Rosyada, 2019).

Katalis hanya mempengaruhi laju pencapaian kesetimbangan, bukan posisi kesetimbangan, (misalnya: membalikkan reaksi). Katalis tidak mengganggu hasil suatu reaksi kesetimbangan dan konsentrasi atau massanya setelah reaksi selesai sama dengan konsentrasi atau massa reaksi sebelum reaksi dilangsungkan. Artinya, katalis bukan berfungsi mengubah zat yang tidak bereaksi menjadi bereaksi, melainkan mengubah zat yang bereaksi lambat menjadi bereaksi cepat (Rosyada, 2019).

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).

Katalis yang berfungsi sebagai zat pengikat, yaitu logam-logam seperti Pt, Cr, dan Ni. Permukaan logam-logam ini memiliki kemampuan mengikat zat yang akan bereaksi sehingga terbentuk spesi yang reaktif. Logam-logam ini mempercepat reaksi-reaksi gas dengan cara membentuk ikatan lemah antara gas dan atom-atom logam pada permukaan. Proses ini disebut adsorpsi. Gas-gas yang terikat pada permukaan logam lebih mudah bereaksi dibandingkan jika gas-gas tersebut berada di udara. Setelah terjadi reaksi, produk hasil reaksi melepaskan ikatannya dengan permukaan logam. Proses ini disebut desorpsi. Katalis mempunyai sifat sebagai berikut (Supeno, 2009) :

- a. Katalis tidak berubah selama reaksi berlangsung, namun ada kemungkinan katalis ikut dalam reaksi tetapi setelah reaksi berakhir, katalis tersebut diperoleh kembali.
- b. Katalis tidak mempengaruhi letak keseimbangan juga tidak mempengaruhi besarnya tetapan kesetimbangan, sebab semua reaksi berakhir dengan kesetimbangan.
- c. Katalis tidak dapat mengawali suatu reaksi, reaksi yang dikatalisis harus sudah berjalan walaupun sangat lambat.
- d. Katalis yang diperlukan untuk mempercepat reaksi biasanya hanya sedikit namun pada umumnya jumlah katalis juga mempengaruhi kecepatan reaksi.

2.1.1 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 beberapa 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.

Katalis ini memiliki material yang hanya tersusun dari satu komponen, diantaranya (Trisunaryanti, 2018).

- Katalis amorf: silika, alumina, alumina-silika.
- Katalis kristalin: zeolit, lempung (*clay*), MCM-41 (*high silica material*).
- Katalis logam dan oksidanya: Fe (Fe_2O_3), Zn (ZnO), Co (CoO), Cr (Cr_2O_3), Pt, Pd, Rh, Ce (CeO), Ni (NiO), dan lain-lain.

Beberapa contoh katalisis homogen adalah (Trisunaryanti, 2018):

- a. Sintesis CH_3COOH dari CH_3OH dan CO menggunakan reaksi kompleks rhodium yang diaktivasi dengan HI mengatalisasi reaksi insersi dengan kondisi reaksi yaitu temperatur 150-200°C, tekanan 1-4 MPa, dan menggunakan katalis Kobalt (Co).
- b. Hidroformilasi antara olefin, CO, dan H_2 bereaksi menghasilkan aldehida menggunakan katalis Cobalt (Co).

Kelebihan dari proses katalisis homogen yakni katalisis homogen terjadi melalui pembentukan senyawa kompleks dari molekul reaktan dan penataan ulang antar molekul sehingga reaksi ini berlangsung spesifik dan menghasilkan produk yang diinginkan dengan hasil yang tinggi. Namun katalisis homogen memiliki kelemahan, yakni sulit beroperasi secara komersial terutama dengan proses fase cair karena keterbatasan pengoperasian pada suhu dan tekanan, sehingga mengakibatkan rumitnya pengaturan peralatan atau reaktor untuk berlangsungnya proses kimia. Selain itu, katalis homogen sangat sulit dipisahkan dari produk karena berada pada fase yang sama (Widi, 2018).

2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang dapat berlangsung lebih dari satu fasa. Biasanya reaktan dan produk terdapat dalam fasa padat, gas, atau cairan,

sedangkan katalis yang digunakan dalam bentuk padatan. Reaksi katalitik terjadi pada permukaan katalis. Katalis heterogen memiliki keuntungan dibandingkan katalis homogen khususnya dalam pemisahannya karena produk yang terlarut dalam medium reaksi dapat dipisahkan dari katalisnya dengan penyaringan. Selain itu, katalis heterogen dapat tahan pada temperatur tinggi (Widi, 2018).

Material yang digunakan pada proses katalisis heterogen memiliki fase yang berbeda dengan reaktan dan produk, sehingga katalisis terjadi melalui difusi dan adsorpsi molekul reaktan pada permukaan katalis (Widi, 2018). Pada dasarnya, katalisis heterogen mencakup (Supeno, 2009):

1. Reaktan akan terjerap (adsorpsi) pada permukaan aktif katalis.
2. Terjadi interaksi pada sepanjang permukaan katalis atau terjadi pelemahan ikatan dari molekul yang terjerap.
3. Setelah reaksi terjadi molekul hasil reaksi (produk) dilepas dari permukaan katalis.

Tabel 1. Klasifikasi Katalis Heterogen

Jenis	Fungsi	Contoh
Logam	Hidrogenasi, dehidrogenasi, dan hidrogenolisis (oksidasi).	Fe, Ni, Pd, Pt, Ag
Oksida semikonduktor, sulfida, dan karbida	Oksidasi, dehidrogenasi, desulfurisasi, isomerisasi, dan fotokatalis.	NiO, ZnO, MnO ₂ , Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , BiO ₂ -MoO ₃ , Ws ₂ , Mo ₂ C
Oksida insulator	Dehidrasi	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO
Asam	Polimerisasi, isomerisasi, perengkahan, dan alkilasi.	H ₃ PO ₄ , H ₂ SO ₄ , SiO ₂ -Al ₂ O ₃ , zeolit, lempung

(Widi, 2018)

Katalis heterogen memiliki material yang tersusun atas dua atau lebih komponen. Katalis ini disebut juga sistem logam/pengemban, diantaranya (Trisunaryanti, 2018):

- Logam dan oksidanya/pengemban amorf: Cr₂O₃/Al₂O₃, Fe₂O₃/alumina-silika, Ni/alumina-silika, Pd/alumina-silika, dan lain-lain.
- Logam dan oksidanya/pengemban kristalin: Pt/zeolit, Pd/zeolit, Ni/MCM-41, Cr₂O₃/Al₂O₃, Fe₂O₃/alumina-silika, Fe₂O₃/clay, dan lain-lain.

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. Beberapa contoh katalisis heterogen diantaranya (Trisunaryanti, 2018):

- Reaksi dehidrogenasi: $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$, Ni/ZnO
- Reaksi hidrogenasi: katalis Ni/*clay*, Ni/zeolit, Pd/karbon, Pd/zeolit, Fe/ Al_2O_3 , Pd/ Al_2O_3 .
- Reaksi oksidasi: katalis $\text{V}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$, 90%Pt-10%Rh, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$, Cu_2O , Pt, Pt-Pd.
- Reaksi perengkahan katalitik: katalis zeolit, *clay*.
- Reaksi *hydrocracking*: katalis logam transisi/pengembangan (Pd/zeolit).
- Reaksi isomerisasi: katalis logam transisi/pengembangan (Pd/ Al_2O_3).
- Reaksi *catalytic reforming*: katalis Pt, Pt-Re, Pt-Ir, diembangkan pada Al_2O_3 .
- Reaksi polimerisasi: katalis H_3PO_4 diembangkan pada *clay*.
- Reaksi sintesis gas: katalis ZnO dengan promotor Cr_2O_3 , Cu-ZnO, dengan promotor Cr_2O_3 atau Al_2O_3 , Fe.
- Reaksi hidrodesulfurasi: katalis CoMo/ Al_2O_3 , NiMo/ Al_2O_3 .

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).

2.1.2 Sifat-sifat Katalis

Katalis bersifat spesifik, dimansa katalis tertentu hanya mempercepat reaksi tertentu (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 (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 (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. Oleh karena itu, material yang akan digunakan sebagai katalis perlu diteliti (Tsani, 2011). 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 (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 (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 (Tsani, 2011).

2.1.3 Komponen-komponen Katalis

Beberapa bahan katalis pada umumnya tersusun dari zat tunggal, namun kebanyakan katalis memiliki tiga komponen yaitu:

1. Komponen Aktif

Komponen aktif berperan untuk reaksi kimia yang utama (Widi, 2018). Komponen aktif merupakan inti katalis yang bertugas mempercepat dan mengarahkan reaksi sehingga komponen ini harus aktif mengkonversikan reaktan dan selektif dalam pembentukan produk (Tsani, 2011).

Ukuran pori (kristal) komponen aktif untuk katalis industri berada pada kisaran 50-500 Å. 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 (Widi, 2018).

2. Pengemban/Penyangga (*Support*)

Penyangga berfungsi sebagai tempat penyebaran komponen aktif dengan tujuan memperluas kontak antara komponen aktif dengan reaktan tanpa mengurangi aktivitas komponen itu sendiri (Tsani, 2011).

Pada umumnya, katalis heterogen dapat mengalami *sintering* (penggabungan atau penggumpalan) sampai batas tertentu sehingga dapat menimbulkan penurunan luas permukaan dan mengurangi aktivitas katalis (Widi, 2018). Pengemban dapat memberi celah fisik antara kristal komponen aktif katalis sehingga menghambat terjadinya *sintering* (Widi, 2018).

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

- a. Mempertahankan luas permukaan komponen aktif tetap tinggi.
- b. Menciptakan permukaan yang stabil dimana komponen aktif terdispersi sedemikian rupa sehingga *sintering* tidak terjadi.
- c. Berdampak pada stabilitas termal dan kekuatan mekanik partikel katalis.

d. Inert dan memberikan efek terhadap porositas

Menurut Aulia (2008), alumina merupakan oksida aluminium dan mempunyai sifat sebagai insulator panas dan insulator listrik yang baik dan tahan terhadap temperatur tinggi sehingga sering dipakai sebagai katalis atau padatan pendukung katalis. Alumina mempunyai sifat yang keras, relatif stabil pada temperatur tinggi, struktur pori-pori yang besar, mudah dibentuk, dan memiliki titik leleh yang tinggi. Karakteristik ini menyebabkan alumina banyak digunakan sebagai adsorben, katalis, amplas, dan dalam bidang industri kimia lain.

Selain dipakai sebagai katalis, alumina juga dipakai sebagai zat padat pendukung. Zat padat pendukung dapat meningkatkan stabilitas dan memperluas permukaan fasa aktif katalis dengan terjadinya dispersi pada permukaan pendukungnya. Luas permukaan padatan katalis yang sangat besar sangat diperlukan dalam reaksi katalitik. Reaksi katalitik yang berlangsung pada permukaan mengalami peningkatan sebanding dengan luas permukaan katalis (Aulia, 2008).

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 (Tsani, 2011).

Dengan adanya promotor, pengemban terlindungi dari segala gangguan dan perubahan jangka panjang, serta menghambat aktivitas yang tidak diinginkan seperti pembentukan kokas (Widi, 2018). Penambahan promotor direkomendasikan untuk menekan endapan coke pada permukaan katalis dan meningkatkan aktivitas katalis (Sangnikul dkk., 2019).

2.2 Katalis NiMo/Al₂O₃

Dalam proses produksi *green diesel*, tahapan hidrogenasi juga memerlukan katalis, salah satunya adalah NiMo/Al₂O₃. Katalis NiMo/Al₂O₃ terdiri dari logam metal berupa *Nickel* (Ni) dan *Molybdenum* (Mo) dan pendukung berupa Al₂O₃ (Arun dkk., 2015). Katalis terbaik untuk mengeliminasi oksigen dan hidrogen

dalam minyak dan lemak adalah NiMo/Al₂O₃ dan mampu menghasilkan *green diesel* dari minyak kastor dengan persentase yield sebesar 98% (Orozco dkk., 2017). Katalis NiMo/Al₂O₃ memiliki ukuran pori yang lebih kecil dari katalis lainnya hingga menghasilkan persen yield C₁₈ (*green diesel*) tertinggi (Mughal, 2011).

Menurut penelitian Sangnikul dkk. (2019), katalis NiMo memiliki luas area 34,3 m²/g, volume pori 0,08 cm³/g, dan ukuran pori 72,8 Å. Katalis konvensional seperti NiMo dan CoMo biasanya menghasilkan agen yang mengandung sulfur untuk mempertahankan aktivitas katalis sebelum digunakan pada reaksi desulfurisasi. Pengembangan katalis non-sulfid pada proses hidrodoksigenasi trigliserida dan asam lemak membuat produksi energi bersih menjadi lebih mudah tanpa menggunakan proses hidrodessulfurasi dalam memproduksi bahan bakar (Ameen dkk., 2018).

Menurut penelitian Ameen dkk. (2018), komposisi yang kompleks pada minyak biji karet memerlukan katalis yang memiliki luas permukaan yang tinggi, volume pori-pori yang tinggi, ukuran partikel yang kecil, membutuhkan temperatur yang rendah, dan mampu mengurangi biaya hidrodoksigenasi pada trigliserida dan asam lemak bebas rantai panjang. Pada penelitian ini Ameen dkk. (2018), dilakukan preparasi Ni(NO₃).6H₂O sebagai Ni dan (NH₄)Mo₇O₂₄.4H₂O sebagai Mo dengan γ-Al₂O₃ sebagai pendukung.

Dalam dekade terakhir telah ditunjukkan bahwa katalis dari logam mulia seperti Pt, Pd, Co, Mo, Ni, dan katalis NiMo dengan luas permukaan yang besar diketahui memiliki kapasitas untuk *hydroprocessing* (Alsultan dkk., 2018).

Katalis CoMo menunjukkan aktivitas yang lebih tinggi dalam proses hidrodessulfurizer daripada katalis NiMo, di mana melalui katalis kobalt lebih baik dalam pengolahan bahan baku yang mengandung senyawa sulfur yang reaktifitasnya rendah. Namun kekurangan katalis kobalt adalah katalis yang dapat mengkatalisasi reaksi *eksoterm* metanasi karbon oksida dan ini dapat menyebabkan efek negatif seperti peningkatan suhu yang tidak diinginkan dalam bahan baku yang mengandung karbon oksida, sedangkan pada tahapan dekarboksilasi terdapat produk berupa CO₂, karena tidak adanya tahapan untuk

pengolahan penghilangan CO₂ menjadikan katalis CoMo tidak dapat digunakan sebagai katalis pada pembuatan *green diesel* (Antoniak dkk., 2011).

Berdasarkan penelitian dari Widiyadi dkk. (2018), katalis NiMo/Al₂O₃ mampu mengkonversi asam lemak pada minyak sawit kotor menjadi hidrokarbon dengan rentang mulai dari hidrokarbon ringan (<C₅), naphta (C₆-C₈), kerosin (C₉-C₁₅), diesel (C₁₆-C₁₉), dan hidrokarbon berat (>C₁₉). Minyak sawit kotor yang digunakan mengandung sebagian besar asam lemak dengan rentang C₁₆-C₁₈, dimana produk hidrokarbon yang dihasilkan terdiri dari 7,67% hidrokarbon ringan, 8,28% naphta, 70,79% kerosin, 8,28% diesel, dan 4,97% hidrokarbon berat.

Pertimbangan pemilihan pusat aktif dan penyangga katalis untuk reaksi hidredeoksigenasi adalah sebagai berikut (Hudaya, 2015):

- Nikel (Ni) merupakan logam yang sering digunakan sebagai komponen katalis dalam berbagai macam proses hidrogenasi. 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. Logam Ni lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur dekarboksilasi.
- Molibdenum (Mo) merupakan logam yang relatif inert, atau sedikit bereaksi dengan larutan asam dan alkali. Logam ini memiliki titik leleh 2610°C dengan tingkat oksidasi -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Molibdenum merupakan unsur transisi golongan VI dengan memiliki konfigurasi elektron [Kr] 4d⁵5s¹. Konfigurasi elektron logam Mo menunjukkan adanya orbital d dan s yang belum terisi penuh (setengah penuh) sehingga ada elektron yang tidak berpasangan sehingga dapat digunakan sebagai katalis. Molibdenum pada katalis lebih selektif terhadap proses deoksigenasi melalui jalur hidredeoksigenasi. Molibdenum memiliki aktivitas yang rendah dalam proses hidrogenasi tetapi memiliki aktivitas yang lebih tinggi dalam proses hidredeoksigenasi.

- Alumina (Al_2O_3) dengan luas area spesifik 160-300 m^2/g memiliki peran sebagai *support* atau penyangga katalis. *Support* adalah suatu komponen dalam katalis yang berfungsi untuk memperbesar luas permukaan katalis dengan menyediakan permukaan pori atau sebagai cetakan bentuk katalis. Umumnya *support* Al_2O_3 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.

Proses sintesis katalis dilakukan dengan metode impregnasi, yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendekomposisi komponen aktif ke dalam material support berpori. Komponen aktif dalam penelitian ini adalah nikel dan molibdenum, sedangkan support berpori yang digunakan adalah Al_2O_3 . Metode ini bertujuan untuk memenuhi pori dengan garam logam yang akan menjadi pusat aktif pada katalis. Larutan perkursor yang digunakan dalam sintesis katalis ini adalah *Ammonium Heptamolybdate Tetrahydrate* dan *Nickel (II) nitrate*. Setelah proses impregnasi selesai, dilakukan proses pengeringan, dan kalsinasi (Hudaya, 2015).

Tabel 2. Sifat Fisik dan Kimia *Nickel (II) Nitrate Hexahydrate*

Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Rumus Kimia	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Massa Molar	290,81 g/mol
Bentuk	Padat
Warna	Hijau Kebiruan
Titik Leleh	56 °C
Titik Didih	137 °C
Densitas	2.05 g/mL pada 25 °C
Titik Nyala	137°C
Suhu Penyimpanan	Disimpan pada +5°C sampai +30°C
<i>Specific Gravity</i>	2.05
Ph	5 (50g/l, H_2O , 20°C)
Kelarutan dalam air	238.5 g/100 mL (20 °C)
<i>Sensitive</i>	Higroskopis
Stabilitas	Stabil, <i>Strong oxidizer</i>

(PubChem, 2020)

Tabel 3. Sifat Fisik dan Kimia *Ammonium Heptamolybdate Tetrahydrate*

Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Rumus Kimia	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Massa Molar	1163.9 g / mol; 1235.86 g / mol (tetrahydrate)
Bentuk	Padat
Warna	Putih
Densitas	2.05 g/mL pada 25 °C
Titik Lebur	~ 90 °C (kehilangan molekul air) 190 °C (terurai)
pH	5,3 (pada 50 g/l, 20 °C)
Kelarutan dalam air	65,3 g / 100 ml (tetrahidrat)
Stabilitas	Stabil (di bawah suhu kamar)

(PubChem, 2020)

Tabel 4. Sifat Fisik dan Kimia Aluminium Oksida/Alumina

Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Rumus Kimia	Al_2O_3
Massa Molar	101,96 g/mol
Bentuk	Padat
Warna	Putih
Densitas	3,987 g/cm ³
Titik Leleh	2,072 °C (3,762 °F; 2,345 K)
Titik Didih	2,977 °C (5,391 °F; 3,250 K)
Kelarutan	larut dalam air, dietil eter, dan etanol

(PubChem, 2020)

2.3. Metode Impregnasi

Impregnasi adalah metode yang paling mudah dan sering digunakan untuk menyiapkan katalis. Tujuannya adalah untuk memenuhi pori dengan konsentrasi yang cukup untuk memberikan loading yang tepat. Larutan dibuat dalam jumlah yang cukup untuk mengisi pori dan harus didasarkan pada perhitungan volume pori pada preparasi oksida tunggal, hanya saja larutan garam logam tidak mengalami perlakuan pemanasan. Partikel penyangga dimasukkan dalam larutan garam logam dan setelah larutan mengisi pori penyangga, dilakukan pengeringan dan kalsinasi. Apabila loading yang dikehendaki belum terpenuhi, maka dilakukan perendaman penyangga lagi untuk pengisian pori kembali sampai loading terpenuhi. Dengan demikian, metode ini dapat memberikan loading sebesar volume pori yang tersedia (Ningtyas, 2017). Pada metode ini, bahan penyangga dicampurkan dengan sejumlah tertentu larutan logam, kemudian

dikeringkan dan dikalsinasi. Berdasarkan jumlah larutan yang digunakan, metode ini dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu impregnasi kering dan impregnasi basah.

a. Impregnasi kering

Metode ini digunakan apabila volume larutan logam yang digunakan tidak melebihi volume pori penyangga. Pada metode ini, larutan logam disemprotkan pada penyangga secara terus menerus disertai dengan pengadukan. Penetrasi larutan logam yang lebih dalam lagi ke bagian dalam pori dapat dicapai dengan mengeluarkan air yang terperangkap dalam pori, sehingga diperoleh distribusi logam prekursor yang lebih seragam dan merata (Kahar, 2015).

b. Impregnasi basah

Impregnasi basah merupakan jumlah larutan prekursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. Pada impregnasi basah, penambahan jumlah larutan prekursor fasa aktif lebih besar dari 1,5 kali volume pori penyangga. Walaupun metode ini adalah yang termudah, tetapi dapat menghasilkan deposisi prekursor aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan menghasilkan distribusi fasa aktif mirip kulit telur pada bagian luar penyangganya (Ningtyas, 2017).

Setelah dilakukan impregnasi, katalis tersebut dikeringkan. Pengeringan dilakukan untuk menguapkan air dan membentuk kristal garam pada permukaan pori. Pembentukan kristal garam dipengaruhi oleh laju pengeringan. Jika laju pengeringan terlalu rendah, maka kristal garam yang terbentuk berada pada dasar pori atau pada pusat partikel penyangga. Laju pengeringan yang cukup akan menyebabkan gradient temperatur meningkat dan kristal garam terbawa keluar pori (Ningtyas, 2017).

Proses selanjutnya adalah kalsinasi. Kalsinasi dilakukan setiap tahap pengeringan. Selama proses kalsinasi, kristal garam dikeringkan sampai kondisi optimum dan garam tersebut dikonversi menjadi oksidanya supaya beku (Ningtyas, 2017).

2.4. Karakterisasi Katalis

Katalis yang telah dibuat perlu diuji apakah struktur katalis tersebut sudah sesuai dengan struktur yang diinginkan atau tidak. Struktur katalis didesain berdasarkan kinerja yang diharapkan pada saat penggunaan katalis. Pengujian katalis ini biasa disebut karakterisasi. Bagian yang paling penting dalam karakterisasi katalis adalah pemilihan metode karakterisasi katalis yang tepat. Teknik pemilihan metode katalis sangat bergantung pada keperluan atau kepentingannya secara ilmiah dan teknik, biaya karakterisasi, dan kemudahan akses peralatan. Secara garis besar, teknik karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sifat- sifat yang akan diteliti, antara lain (Tsani, 2011):

1. Sifat-sifat partikel, meliputi: luas permukaan (surface area), porositas atau distribusi ukuran pori (adsorpsi uap pada suhu rendah, Hg porosity, dan incipient wetness), densitas, ukuran partikel, sifat-sifat mekanis dan difusifitas.
2. Sifat- sifat permukaan (surface), meliputi: struktur dan morfologi (SEM, TEM, XRD, EXAFS, XPS, IR, Raman, UV-Vis), dispersi (chemisorptions), dan keasaman (TPD).
3. Sifat- sifat bulk, meliputi: komposisi elemental (XRF, AAS), sifat- sifat senyawa atau struktur fasa (XRD, Raman, IR, DTA, TPR, TPO, TEM), struktur molekul (IR, Raman, UV_Vis, XAFS, NMR, dan EPR), serta reaktifitas bulk (XRD, UV-Vis, TGA, DTA, TPR, dan TPO).

2.4.1 Karakterisasi Metode *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX)

SEM adalah salah satu metode pengujian katalis untuk membaca suatu permukaan sampel dengan suatu alat pembaca electron (5-50 kV). Elektron didevisiasikan atau diemisikan, menghasilkan gambar pada tabung sinar katoda, di- scan secara menyeluruh dengan sinar. Pembesaran 20 – 50,000 kali mungkin dilakukan dengan resolusi sebesar 5 nm. Suatu area dengan kedalaman yang besar dan struktur yang sangat tidak teratur dapat diketahui dengan efek tiga dimensi (Tsani, 2011).

SEM merupakan alat yang baik digunakan untuk mempelajari topografi secara keseluruhan. Keterbatasan resolusi membuat teknik terbatas bagi kristal

yang lebih besar daripada 5 nm. Diatas level ini, bentuk, ukuran, dan distribusi ukuran mudah untuk dilakukan (Tsani, 2011).

Sedangkan EDX (*Energy Dispersive of X-ray Spectroscopy*) merupakan salah satu teknik untuk menentukan komposisi atom pada sampel. Dasar dari analisis EDX adalah pelacakan dan pengukuran dari sifat-sifat sinar-X yang dibangkitkan oleh elektron-elektron cepat. Analisis EDX adalah alat untuk analisis kuantitatif dan kualitatif elemen. Metode ini memungkinkan cepat dan analisis kimia non-destruktif dengan resolusi spasial dalam mikrometer. Hal ini didasarkan pada analisis spektral radiasi sinar-X karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada iradiasi dengan berkas elektron difokuskan dari SEM. Dalam sistem spektroskopi dari foton sinar-X dipancarkan dilakukan oleh detektor-Li Si dengan resolusi energi sekitar 150 eV pada 5 mm jarak kerja (Martinez, 2010).

Analisa EDX juga sering dikenal dengan sebutan EDS. Analisa ini tidak dapat terlepas dari SEM sehingga sering juga disebut sebagai analisa SEM-EDX. Analisa ini memanfaatkan spectrum x-ray untuk elemen dalam suatu sampel padatan. EDX dapat dimanfaatkan untuk mengukur kandungan karbon dalam suatu sampel yang dimanfaatkan untuk mengukur %C sebagai parameter coke formation pada permukaan katalis (Hudaya, Tedi., dan Wiratama, I Gede Pandega, 2015).

2.4.2 Karakterisasi Metode XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray diffraction adalah suatu metode karakterisasi yang menggunakan sinar X dalam pengoperasiannya. Prinsip dari karakterisasi dengan sinar X adalah dengan adanya refleksi terhadap bidang kristal tertentu, dan didasari bahwa setiap bahan selalu menghasilkan pola difraksi yang tertentu, baik ketika masih berupa bahan murni ataupun ketika sudah berada dalam suatu campuran (Tsani, 2011).

Keuntungan dari metode karakterisasi XRD ini adalah identifikasi terhadap suatu bahan akan memberikan hasil analisis terhadap kehadiran bahan tertentu sebagaimana yang terdapat dalam sampel, bukan hanya elemen konstituen kimianya saja. Namun demikian, metode ini tidak mampu menampilkan sifat-sifat katalis yang diperlukan untuk katalis-katalis yang bersifat bukan kristal. Metode yang paling banyak digunakan untuk mengidentifikasi dan karakterisasi

suatu bahan adalah Powder Method, alatnya sendiri telah banyak digunakan dengan nama *Powder X-Ray Diffraction*. Alasan yang mendasari banyaknya karakterisasi dengan menggunakan metode ini adalah kemudahan dalam melakukannya (Tsani, 2011).

2.5 Crude Palm Oil (CPO)

Minyak sawit mentah (CPO) adalah produk baku dasar yang diperoleh melalui ekstraksi buah kelapa sawit. Minyak kelapa sawit, sebagai minyak nabati. Minyak mentah ini tidak jarang digunakan sebagai bahan awal untuk produksi biodiesel karena tingginya kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal.

CPO digunakan sebagai bahan baku industri untuk produksi biodiesel karena merupakan produk dari pabrik penggilingan. Setelah proses penggilingan CPO termasuk minyak non-nabati karena memiliki kadar FFA (*Free Fatty Acid*) tinggi dan memiliki kandungan impuritis. Oleh karena itu, CPO biasanya dikirim ke kilang untuk diproses dan dimurnikan secara lebih lanjut. CPO secara konvensional biasanya digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel.

Tabel 5. Komposisi CPO

FAC	Range		Mean		SD.	
	This study	Moh dkk. (1999)	This study	Moh dkk. (1999)	This study	Moh dkk. (1999)
C8:0 carpic	0-0,3	0-0,2	0,2	0,1	0,08	0,05
C10:0 carprylic	0-0,2	0-0,2	0,17	0,1	0,06	0,04
C12:0 lauric	0,1-2,4	0,1-1,7	0,46	0,4	0,61	0,30
C14:0 myristic	0,9-1,6	1,0-1,8	1,20	1,2	0,20	0,19
C16:0 palmitic	43,0-49,1	46,4-51,2	46,9	47,8	1,46	1,40
C16:1 palmitoleic	0,1-0,3	0,2-0,3	0,15	0,2	0,06	0,01
C18:0 stearic	4,0-4,5	3,7-5,1	4,30	4,3	0,13	0,29
C18:1 oleic	34,7-37,2	33,0-37,7	36,7	36,2	1,13	1,41
C18:2 linolenic	8,5-9,7	7,8-9,6	9,03	8,9	0,28	0,45
C18:3 carpic	0,3-0,5	0,3-0,5	0,31	0,4	0,096	0,07
C20:0 arachidic	0,0-0,4	0,3-0,4	0,28	0,3	0,08	0,05
Others	0-0,2	0-0,5	0,10	0,3	0,05	0,12

(Moh dkk., 1999)

Tabel 6. Sifat Fisk dan Kimia CPO

Sifat	Minyak Kelapa Sawit (CPO)
Bobot jenis pada suhu kamar	0,9
Indeks bias 40°C	1,4565 – 1,4585
Bilangan iod	48 – 56
Bilangan penyabunan	196 – 205
Titik leleh	25°C – 50°C
Warna	Kuning, kuning kecoklatan
Bau	Khas minyak sawit
Tingkat kejernihan	Jernih

(Krischenbauer, 1960)

Tabel 7. Properti dari CPO Yang Digunakan Sebagai Bahan Baku Pembuatan

Green Diesel

Property	Analysis method	Value
Acid value (mg KOH/g)	UNE-EN ISO 660:2000	21.45
Metals (mg/kg)	ASTM D5185-05	
Na		15.7
K		n.d
Mg		4.9
Ca		5.3
Phosporous (mg/kg)	ASTM D5185-05	13.1
Fatty acid profile (wt%)	UNE-EN ISO 5508:1996 and UNE-EN ISO 5509:2000	
Myristic acid (14:0)		0.8
Palmitic acid (16:0)		43.3
Palmitoleic acid (16:1)		0.0
Stearic acid (18:0)		5.2
Oleic acid (18:1)		39.7
Linoleic acid (18:2)		10.5
Linoleic acid (18:3)		0.4
Water (mg/kg)	UNE-EN ISO 12937:2001	687
Unsaponifiables (wt%)	Method reported by Plank and Lorbeer, 1994	2.5

(Malero, 2015)

2.6 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.

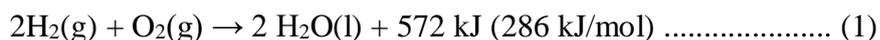
Tabel 8. Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (H₂)

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, 2020)

Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Pada konsentrasi rendah sekitar 4% dan suhu ruang, hidrogen dapat terbakar secara spontan bila bereaksi dengan klorin dan fluorin.

Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis. Hidrogen atau H₂ mempunyai kandungan energi per satuan berat tertinggi, dibandingkan dengan bahan bakar manapun. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi rendah 4% H₂ di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



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).

2.7 *Hydrotreating*

Reaksi *hydrotreating* merupakan reaksi senyawa organik dengan proses hidrodeoksigenasi. Proses hidrodeoksigenasi adalah proses yang menggunakan hidrogen bertekanan tinggi untuk menghilangkan oksigen serta heteroatom lainnya, yaitu nitrogen, sulfur, dan klorin (De S dkk., 2015). Dalam proses *hydrotreating* terdapat dua tahapan dasar, yaitu dekomposisi trigliserida dan deoksigenasi. Dekomposisi trigliserida terutama dengan eliminasi β untuk menghasilkan asam lemak, dan selanjutnya deoksigenasi asam lemak menengah untuk membentuk hidrokarbon seperti diesel melalui tiga cara, yakni dekarbonilasi, dekarboksilasi, dan hidrodeoksigenasi (Wang dkk., 2018).

Kondisi operasi pada saat melakukan proses hidrodeoksigenasi serta katalis yang digunakan dalam proses sangat berpengaruh terhadap reaksi hidrodeoksigenasi itu sendiri. Katalis yang umumnya digunakan dalam proses *hydrotreating* trigliserida adalah katalis logam mulia (Pd atau Pt), sulfida, dan logam transisi (Ni atau Mo). Katalis logam mulia memiliki aktivitas katalitik tinggi, tetapi berbiaya mahal karena kelangkaannya (Wang dkk., 2018).

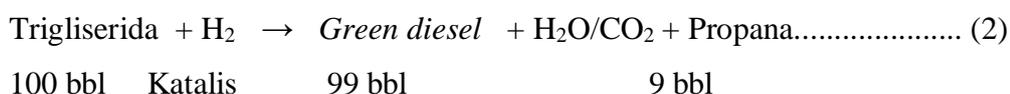
Penelitian mengenai pemanfaatan sumber biomassa menjadi bahan bakar melalui proses *hydrotreating* telah banyak dilakukan, salah satunya dengan penggunaan minyak nabati. Penelitian tersebut telah dilakukan oleh Musthapa dkk. (2009). Pada penelitiannya, digunakan minyak nabati menjadi alkana melalui proses *hydrotreating* dengan bantuan katalis berupa Ni-PILC dan NiS/Al₂O₃. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah produk berupa dodekana dengan kondisi suhu 300°C dan tekanan 23-30 kg/cm² untuk katalis Ni-PILC sedangkan katalis NiS/Al₂O₃ pada suhu 250°C dan tekanan 9-15 kg/cm².

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Abdulkareem-Alsultan dkk. (2018). Dalam penelitiannya, digunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku dengan katalis $\text{Ag}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3/\text{AC}_{\text{nano}}$. Pada penelitiannya diperoleh *yield* melebihi 89% hidrokarbon dan selektivitas n- (C15 + C17) sebesar 93%. Hal tersebut diperoleh pada kondisi optimum katalis 1% wt., suhu reaksi 350°C, dan waktu reaksi selama 120 menit. Selain itu, Orozco dkk.. (2017) juga melakukan penelitian terkait pemanfaatan minyak nabati menjadi bahan bakar. Penelitiannya menggunakan minyak jarak dengan katalis Ni-Mo/ Al_2O_3 pada suhu 270°C dan 350°C. Perbandingan H_2 / minyak 35 : 1. Dari penelitiannya dihasilkan kemurnian relatif produk sebesar 95% - 98%.

2.8 *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).

Proses *green diesel* menghilangkan oksigen melalui reaksi dengan hidrogen menghasilkan produk parafin murni. Hasil volume adalah 99% dan produk samping utama adalah propana dan produk sampingnya adalah air dan karbon oksida. Bahan baku yang mengandung asam lemak bebas dapat diproses dalam proses *green diesel* tanpa masalah yang disebabkan oleh produksi *fatty acid methyl ester* (FAME).



Proses produksi *green diesel* (biodiesel Gen-2nd) adalah dengan menerapkan tahapan *hydroprocessing* dengan bantuan katalis, hidrogen digunakan untuk melepas oksigen yang terikat pada molekul trigliserida. Biodiesel Gen-2nd ini dihasilkan dari tumbuhan biomassa yang sebagian besar bahannya adalah lignoselulosa, karena hal ini membuat sebagian besar sumber bahan bakunya dapat berasal dari biomassa yang bukan sumber makanan, dan ini tersedia murah dan berlimpah di Indonesia (Naik, 2010). Selektivitas *green diesel* yang

dihasilkan, rantai karbon C18, CO, dan CO₂, juga telah diteliti melalui penggunaan jenis katalis yang berbeda, yaitu NiMo-S/Al₂O₃, Pd/C dan Pt/ β -Zeolite. Dihasilkan persen yield C18 tertinggi adalah dengan menggunakan NiMo-S/Al₂O₃ yang disebabkan karena ukuran porinya lebih kecil dibandingkan dengan yang lainnya (Mughal, 2011).

Green diesel memiliki kelebihan dibandingkan biodiesel atau Fatty Acid Methyl Ester (FAME). *Green diesel* lebih ramah lingkungan dan CO₂ yang di produksi dari proses pembuatan *green diesel* lebih rendah daripada produksi pembuatan FAME (Holmgren dkk., 2007). Berbeda dengan biodiesel yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi, *green diesel* diperoleh dengan mengadopsi salah satu proses yang ada di kilang minyak bumi yakni *hydroprocessing*. Dengan proses hidrogenasi menggunakan katalis *hydroprocessing* mampu mengubah ikatan senyawa trigliserida dalam minyak nabati menjadi senyawa hidrokarbon rantai parafinik lurus yang menyerupai struktur senyawa hidrokarbon dalam minyak solar. Karakter sifat fisik pada produk *green diesel* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. *Green Diesel European Standard*

Parameter	<i>Green Diesel European Standar</i> [EN15940:2016/A1:2018]	
	Min	Max
Densitas pada 15°C (kg/m ³)	765	800
Viskositas Kinematik pada 40°C (mm ² /s)	2	4,5
Titik Nyala (°C)	-	55
Nilai Kalor (MJ/kg)	43,7	44,5
Fatty Acid Methyl Esters (FAME) (vol%)	-	7
Kadar Air (gr)	-	0,02
Cetane Number (CN)	70/51	-
Titik Awan (°C)	34	-

(Douvartzides, 2019)

Selain dari segi lingkungan dan emisi CO₂, *green diesel* memiliki beberapa keunggulan dari faktor %Oxygen, *Specific Gravity*, *Sulfur*, *Heating Value*, *Cloud Point*, *Distillation*, *Cetane*, dan *stability* (Holmgren dkk., 2007).

Tabel 10. *Green Diesel Fuel Properties*

	Petroleum ULSD	Biodiesel (FAME)	<i>Green diesel</i>
%Oxygen	0	11	0
Spesific Gravity	0,84	0,88	0,78
Sulfur (ppm)	<10	<1	<1
Heating Value (MJ/Kg)	43	38	44
Cloud Point (°C)	-5	-5 to +15	-10 to +20
Distillation (°C)	200-350	340-355	265-320
Cetane	40	50-65	70-90
Stability	Baik	Kurang Baik	Baik

(Kalnes dkk., 2007)

Komponen-komponen oksigen menyebabkan timbulnya sifat-sifat yang tidak diinginkan di dalam bahan bakar, seperti energi densitas yang rendah, ketidakstabilan termal yang tinggi, dan keasaman yang tinggi sehingga menyebabkan bahan bakar tersebut tidak dapat digunakan secara langsung dalam proses pembakaran pada mesin (Sangnikul dkk., 2019).

2.9 Karakterisasi *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 tersebut. Bentuk persamaannya adalah :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} = \frac{m}{V}$$

Satuan dari berat jenis adalah kg/dm^3 , gr/cm^3 atau gr/ml . Berat jenis mempunyai harga konstan pada suatu temperatur tertentu dan tidak tergantung pada bahan cuplikan atau sampel.

Berat jenis suatu zat cair dapat dihitung dengan mengukur secara langsung mengukur berat zat cair dalam piknometer (menimbang) dan volume zat ditentukan berdasarkan volume piknometer.

$$\text{Berat Jenis zat Cair} = \frac{\text{Berat Zat Cair dalam Piknometer}}{\text{Volume Zat Cair dalam Piknometer}}$$

Dimana :

Berat zat cair dalam piknometer = (berat piknometer + berat zat cair) –
piknometer kosong)

Volume zat cair dalam piknometer = volume piknometer

Volume piknometer ditentukan secara langsung dengan menggunakan zat cair yang lain yang diketahui berat jenisnya.

b. Viskositas (*Viscosity*)

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 *viscometer* yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama *viscometer* yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

c. Kadar Air

Kadar air minyak tungku/furnace pada saat pemasokan umumnya sangat rendah sebab produk disuling dalam kondisi panas. Batas maksimum 1% ditentukan sebagai standar. Air dapat berada dalam bentuk bebas atau emulsi dan dapat menyebabkan kerusakan dibagian dalam permukaan tungku selama pembakaran terutama jika mengandung garam terlarut. Air juga dapat menyebabkan percikan nyala api di ujung *burner*, yang dapat mematikan nyala api, menurunkan suhu nyala api atau memperlama penyalaan.

d. Titik nyala (*Flash Point*)

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.