

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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):

- 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).

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.

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. Banyak cara dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari katalis. Salah satunya yaitu dengan pengaktifasian katalis. Aktivasi katalis berfungsi untuk meningkatkan sifat-sifat baik didalam katalis tersebut.

2.1.1 Macam-Macam 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

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).

Tabel 2.1 Klasifikasi Katalis Heterogen

Jenis	Fungsi	Contoh
Logam	Hidrogenasi, dehidrogenasi, dan hidrogenolisis (oksidasi).	Fe, Ni, Pd, Pt, Ag
Oksida semikonduktor, sulfida, dan karbida	Oksidasi, 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

Sumber: Stoltze (2002) dalam 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: Cr₂O₃-Al₂O₃, Ni/ZnO

- Reaksi hidrogenasi: katalis Ni/*clay*, Ni/zeolit, Pd/karbon, Pd/zeolit, Fe/Al₂O₃, Pd/Al₂O₃.
- Reaksi oksidasi: katalis V₂O₅/SiO₂, 90%Pt-10%Rh, Fe₂O₃-MoO₃, Cu₂O, Pt, Pt-Pd.
- Reaksi perengkahan katalitik: katalis zeolit, clay.
- Reaksi *hydrocracking*: katalis logam transisi/pengemban (Pd/zeolit).
- Reaksi isomerisasi: katalis logam transisi/pengemban (Pd/Al₂O₃).
- Reaksi *catalytic reforming*: katalis Pt, Pt-Re, Pt-Ir, diembankan pada Al₂O₃.
- Reaksi polimerisasi: katalis H₃PO₄ diembankan pada *clay*.
- Reaksi sintesis gas: katalis ZnO dengan promotor Cr₂O₃, Cu-ZnO, dengan promotor Cr₂O₃ atau Al₂O₃, Fe.
- Reaksi hidrodesulfurasi: katalis CoMo/Al₂O₃, NiMo/Al₂O₃.

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, 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. Oleh karena itu, material yang akan digunakan sebagai katalis perlu diteliti (Leach, 1983 dalam 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 (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).

2.1.2 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 (Cahyadi, 2000 dalam 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 penebaran komponen aktif dengan tujuan memperluas kontak antara komponen aktif dengan reaktan tanpa mengurangi aktivitas komponen itu sendiri (Cahyadi, 2000 dalam 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:

- 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 (Cahyadi, 2000 dalam 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 *et.al*, 2019).

2.2 NiMo/Al₂O₃

Katalis NiMo/Al₂O₃ terdiri dari logam metal berupa Nickel (Ni) dan Molybdenum (Mo), serta pendukung berupa Al₂O₃ (Arun dkk, 2015). Dimana nikel berperan sebagai inti aktif (komponen aktif), molibdenum berperan sebagai promotor, dan alumina berperan sebagai penyangga. Katalis ini dapat digunakan dalam tahapan *Hydroprocessing* pada produksi *green diesel*. Menurut penelitian Sangnikul *et.al* (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 (Sangnikul *et.al*, 2019). Pengembangan katalis non-sulfid pada proses hidroleoksisasi trigliserida dan asam lemak

membuat produksi energi bersih menjadi lebih mudah tanpa menggunakan proses hidrodesulfurasi dalam memproduksi bahan bakar (Ameen *et.al*, 2018).

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% (Orozko 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 Ameen *et.al* (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 hidredeoksigenasi pada trigliserida dan asam lemak bebas rantai panjang. Pada penelitian ini Ameen *et.al* (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 *et.al*, 2018).

Berdasarkan penelitian dari Widiyadi *et.al* (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.

2.3 Karakteristik 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 Istadi. Secara garis besar, teknik karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sifat- sifat yang akan diteliti, antara lain [Istadi. 2004] :

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).

2.3.1 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. 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 (Nasikin. M dan Susanto. B. Heru, 2010).

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).

2.4 Crude Palm Oil

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak kelapa sawit adalah minyak nabati edibel yang didapatkan dari mesocarp buah pohon kelapa sawit, umumnya dari spesies *Elaeis guineensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa* (Reeves, 1979 dalam wikipedia.org). Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (palm kernel oil) yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Minyak kelapa sawit juga berbeda dengan minyak kelapa yang dihasilkan dari inti buah kelapa (*Cocos nucifera*). Perbedaan ada pada warna (minyak inti sawit tidak memiliki karotenoid sehingga tidak berwarna merah), dan kadar lemak jenuhnya. Minyak sawit mengandung 41% lemak jenuh, minyak inti sawit 81%, dan minyak kelapa 86%. (Harold McGee, 2004)

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

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

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

Tabel 2.2 Komponen Penyusun Minyak Sawit

Komponen	Komposisi (%)
Trigliserida	94
Asam Lemak Bebas	3-4
Air	0,20
Phosphatida	0,07
Karoten	0,03
Aldehid	0,07

Sumber : Kuswardhani (2007)

Tabel 2.3 Komposisi Asam Lemak Minyak Sawit

Asam lemak	Rumus kimia	Jumlah (%)
Asam Miristat	$C_{13}H_{27}COOH$	1,1-2,5
Asam palmitat	$C_{13}H_{31}COOH$	40-46
Asam stearat	$C_{13}H_{35}COOH$	3,6-4,7
Asam oleat	$C_{13}H_{33}COOH$	39-45
Asam linoleat	$C_{13}H_{31}COOH$	7-11

Sumber : Ketaren (2005)

Tabel 2.4 Sifat Fisik 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

Sumber : Krischenbauer, (1960)

2.5 Hidrogen

Hidrogen adalah salah satu unsur kimia yang mudah terbakar dan membentuk air (H₂O) jika bereaksi dengan oksigen (Sikumbang, 2007). Hidrogen adalah gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak larut dalam air (Lestari, 2004). Hidrogen juga merupakan gas yang paling ringan, satu liter hidrogen pada suhu 0°C dan tekanan 76 cmHg beratnya hanya 0,09 gram (Sikumbang, 2007).

Tabel 2.5 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)

Sumber: Jolly, (2020)

Menurut Jolly (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).

Untuk mendapatkan hidrogen, diperlukan suatu teknologi yang tinggi karena hidrogen memiliki sifat yang mudah meledak sehingga harus disimpan pada tabung yang kuat dan aman dari kebocoran (Sikumbang, 2007).

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

- Sebagai bahan bakar yang akan menghasilkan energi tiga kali lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh bensin pada berat yang sama.
- Digunakan untuk balon meteorologi karena merupakan gas yang paling ringan.
- Pembuatan margarin, mengubah minyak yang merupakan ester tidak jenuh menjadi senyawa jenuh dengan katalis nikel ramsey.
- Cairan hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar roket karena mempunyai nilai kalor pembakaran yang besar yakni 120 kJ/g.

2.6 *Hydrotreating*

Reaksi *hydrotreating* merupakan reaksi senyawa organik dengan proses hidredeoksigenasi. Proses hidredeoksigenasi adalah proses yang menggunakan hidrogen bertekanan tinggi untuk menghilangkan oksigen serta heteroatom lainnya, yaitu nitrogen, sulfur, dan klorin (De 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 hidredeoksigenasi (Wang, dkk., 2018).

Kondisi operasi pada saat melakukan proses hidredeoksigenasi serta katalis yang digunakan dalam proses sangat berpengaruh terhadap reaksi hidredeoksigenasi 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.

2.7 *Green Diesel*

Green diesel atau biodiesel G2 adalah senyawa alkana hasil pengolahan minyak nabati dengan cara hidrogenasi yang memiliki sifat-sifat mirip bahan bakar diesel, disebut *green diesel* karena proses pengolahannya ramah lingkungan karena tidak dihasilkan limbah dan emisi hasil pembakaran juga memberikan limbah yang kecil dibanding minyak diesel yang lain (Salamah dan Satyawan, 2013). 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 *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* memiliki karakter seperti produk bahan bakar mesin diesel yang disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Standar *Green Diesel European Standards*

Parameter	Satuan	Nilai
Densitas	kg/m ³	765 – 800
Viskositas kinematik	cSt	2 – 4,5
Kadar Air	%	<0,02
Titik Nyala	°C	>55

Sumber : Savvas L. (2019)

Tabel 2.7 *Green diesel Fuel Properties*

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

Sumber: Kalnes *et.al* (2007)

2.8 Karakterisasi *Green Diesel*

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

1. 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/dm³, gr/cm³ 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

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

Dimana:

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

Volume zat cair dalam piktometer = volume piktometer

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

2. 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.

3. 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.

4. Kadar Air

Kadar air minyak tungku/furnace pada saat pemasakan 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.

5. *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS)

GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisa jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas.

Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetic seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Kromatografi gas ini juga mirip dengan distilasi fraksional, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan pada perbedaan titik didih (atau tekanan uap) (Pavia, 2006).