

## SINTESIS *GREEN DIESEL* DARI VARIASI *FEEDSTOCK* DAN KATALIS DENGAN PROSES HIDROGENASI

Zamroni Dita firdaus<sup>1</sup>, Firza Okta Sumarmiyati<sup>1</sup>, Bambang Wahyudi<sup>1\*</sup>, SD Sumbogo Murti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur  
Jl. Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60249, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Gedung Energi 625 Klaster V, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan 15314

\*Penulis korespondensi: bwahyudi11@yahoo.com; zamroniditafirdaus@gmail.com; sd.sumbogo@bppt.go.id

### Abstrak

*Minyak biji kapuk, minyak biji jarak kepyar, dan CPO Off-grade merupakan minyak nabati yang tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan, namun berpotensi besar sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN) seperti green diesel yang secara langsung dapat diaplikasikan tanpa penambahan solar. Pembuatan green diesel terdiri dari proses pretreatment bahan baku dan sintesis green diesel. Penelitian ini bertujuan untuk membuat green diesel dari ketiga bahan baku dan variasi katalis  $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  melalui proses hidrogenasi yang memenuhi SNI Biodiesel. Proses pembuatan green diesel dimulai dengan pemberian tekanan awal 30 bar, suhu 300°C untuk tahap reaksi (stage) 1 selama 1 jam dan suhu 400°C untuk stage 2 selama 1 jam pada reaktor hidrogenasi jenis batch. Hasil green diesel terbaik didapatkan pada bahan CPO Off-grade dengan katalis  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan %yield sebesar 96,4626% dan didapat hasil karakterisasi flash point, pour point, nilai kalor, kandungan sulfur, GC-FID liquid, densitas, dan cetane number telah memenuhi standar SNI Biodiesel, namun untuk nilai viskositas kinematik belum memenuhi standar SNI biodiesel.*

**Kata kunci:** energi terbarukan; green diesel; hidrogenasi; katalis; variasi feedstock

## SYNTHESIS GREEN DIESEL FROM FEEDSTOCK AND CATALYST VARIATIONS WITH HYDROGENATION PROCESS

### Abstract

*Kapok seed oil, jatropha seed oil, and CPO Off-grade are vegetable oils that cannot used as food ingredients, but have great potential biofuels such as green diesel which can be directly applied without the addition of diesel. Making green diesel consists of pretreatment of raw materials and synthesis of green diesel. The purpose of this research is to make green diesel from three raw materials and variation of catalysts  $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  used hydrogenation process that fulfill SNI Biodiesel. Making green diesel starts with giving initial pressure of 30 bar, temperature of 300°C for the reaction stage 1 for 1 hour, and 400°C for stage 2 for 1 hour in batch hydrogenation reactor of catalyst addition. The best green diesel results were obtained on CPO Off-grade using  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalyst with %yield of 96.4626%. The characterization results obtained that sulfur content, pour point, calorific value, GC-FID liquid, flash point, density, and cetane number fulfill the SNI biodiesel standard, but the kinematic viscosity value does not fulfill the SNI biodiesel standard.*

**Keywords:** renewable energy; green diesel; hydrogenation; catalyst; feedstock variation

### PENDAHULUAN

Energi menjadi kebutuhan yang absolut serta wajib dipenuhi pada masa kini. Energi selaku penggerak sarana dan prasarana penunjang kehidupan manusia dihasilkan dari bahan bakar fosil. Pada saat ini, banyaknya kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) dari fosil tidak selaras dengan ketersediaan BBM yang ada, sehingga meningkatkan impor bahan

bakar fosil. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2016 hingga 2019 kebutuhan energi di Indonesia mengalami peningkatan. Tercatat tahun 2019 konsumsi energi akhir negara Indonesia sebanyak 0,95 miliar *barrels oil equivalent* (BOE) (KESDM, 2020). Sehingga dengan kebutuhan yang terus meningkat dan menurunnya persediaan energi fosil harus lekas diimbangi dengan penyediaan energi alternatif yang

dapat diperbaharui. Telah banyak upaya yang dilakukan untuk menemukan energi alternatif lain seperti membuat energi terbarukan dengan memanfaatkan bahan baku dari alam seperti biodiesel. Biodiesel memiliki beberapa kelemahan yaitu emisi  $\text{NO}_x$  dan viskositas yang masih tinggi serta rendahnya nilai kalor yang dimiliki dibandingkan dengan solar (Singh et al., 2019). Sehingga untuk menyempurnakan kelemahan dari biodiesel maka *green diesel* dipilih sebagai solusi. *Green diesel* atau bisa disebut biodiesel generasi ke-2 (G2) memiliki kelebihan mampu mencapai bilangan *cetane* 70–90, sedangkan biodiesel hanya mampu mencapai bilangan *cetane* 50–65. *Green diesel* dapat diaplikasikan sebagai BBM untuk mesin diesel tanpa adanya penambahan solar (Zikri dan Aznury, 2020).

*Green diesel* dibuat dari bahan baku berupa minyak nabati. Terdapat beberapa minyak nabati yang belum dimanfaatkan dengan baik sedangkan ketersediannya sangat melimpah di Indonesia. Contohnya minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*), minyak biji jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) dan *crude palm oil off-grade* (CPO *off-grade*). Sehingga perlu dilakukan pemanfaatan lebih lanjut untuk memanfaatkan minyak nabati yang tersedia menjadi energi baru terbarukan (EBT) seperti *green diesel*. *Green diesel* dibuat melalui proses *hydrotreatment* dengan bantuan katalis. Pada tekanan dan suhu yang tinggi konversi trigliserida menjadi *green diesel* terdiri dari tiga jalur utama yaitu hidrodoksigenasi (HDO), dekarbonilasi (DCO), dan dekarboksilasi ( $\text{DCO}_2$ ) (Afshar Taromi and Kaliaguine, 2018). Proses pembuatan *green diesel* ini membutuhkan katalis yang memiliki kondisi proses yang ekonomis serta berbiaya rendah. Katalis yang memiliki aktivitas katalitik yang baik serta memiliki biaya yang relatif murah adalah katalis Ni-Mo, Co-Mo dengan penyangga  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  atau  $\gamma$ -alumina. Kondisi operasi yang digunakan pada proses konversi minyak nabati menjadi *green diesel* adalah suhu antara 200–300°C dan tekanan 20-30 atm dengan reaktor *batch* (Salamah, 2010).

Beberapa penelitian serupa telah dilakukan dengan bahan baku minyak jelantah dengan katalis  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , didapatkan hasil rendemen tertinggi sebesar 98,93% pada kondisi operasi 2 *stage*, dengan suhu *stage* 300°C dan 400°C dan tekanan 30 bar selama 1 jam untuk masing-masing *stage* (Heriyanto et al., 2018). Penelitian lain telah membuktikan bahwa proses *degumming* pada bahan baku menghasilkan *yield green diesel* yang lebih maksimal (Habibie et al., 2019). Selain itu, dengan bahan baku minyak biji kapuk dengan penggunaan katalis  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , dilakukan penelitian lain untuk mengetahui waktu yang optimal dalam tahapan reaksi hidrogenasi. Persentase *yield* terbaik diperoleh pada waktu reaksi 2x60 menit dengan %*yield* sebesar 95,959% (Ristanti et al., 2020). Penelitian ini

dilakukan dengan mengambil acuan kondisi operasi pada penelitian terdahulu dan menambahkan pembaruan pada variasi bahan baku (*feedstock*) dan variasi katalis dengan reaktor tipe *batch*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *green diesel* dengan bahan baku minyak biji kapuk, minyak biji jarak kepyar, dan CPO *off-grade* melalui proses hidrogenasi menggunakan katalis  $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang memenuhi SNI Biodiesel, mengetahui pengaruh katalis  $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  terhadap reaksi proses *green diesel*, mengetahui karakterisasi pada *green diesel* dari ketiga bahan baku yang digunakan.

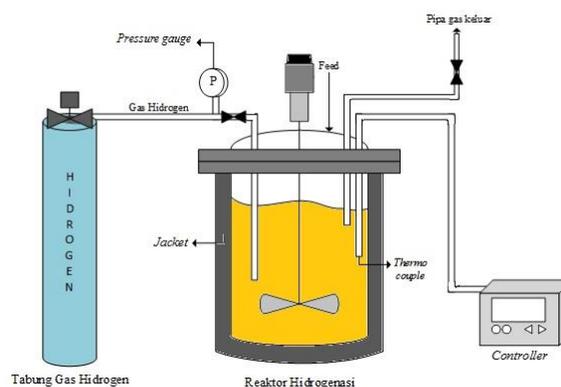
## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak biji kapuk dari perusahaan CV. Jaya Teknik di Pasuruan, minyak biji jarak kepyar dari CV. Madurekso Kimia Raya di Kudus, dan CPO *Off-grade* dari PT. SMART Tbk. (Filma) di Surabaya, serta katalis komersial  $\text{NiMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan spesifikasi berfase padat, berwarna hijau, dan sukar larut dalam air dan katalis komersial  $\text{CoMo}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan spesifikasi berfase padat, berwarna biru, dan sukar larut dalam air.

### Alat

Alat utama dalam penelitian ini yaitu reaktor hidrogenasi 0,5L tipe *batch* yang terdapat pada laboratorium Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung Energi 625 Klaster V.



**Gambar 1.** Rangkaian alat reaktor hidrogenasi

### Cara Kerja Rangkaian Alat

Rangkaian alat reaktor hidrogenasi bertujuan untuk mereaksikan bahan baku minyak yang berfase cair dengan gas hidrogen yang masuk dengan bantuan pengadukan dan pemanas hingga terbentuk suatu produk. Pada Gambar 1 mekanisme kerja alat reaktor hidrogenasi adalah dimulai dengan memasukkan seluruh bahan baku pada reaktor kemudian menutupnya. Setelah itu menambahkan gas hidrogen

pada reaktor dari tabung gas hidrogen yang diinjeksikan pada tekanan 30 bar. Selanjutnya mengatur suhu operasi pada *controller* dimana suhu operasi yang dijalankan adalah 300°C (reaksi tahap 1) dan 400°C (reaksi tahap 2) serta pengadukan dengan kecepatan 400 rpm.

## Prosedur

### Pretreatment Bahan Baku

Ketiga bahan baku dilakukan *pretreatment degumming water* menggunakan aquadest. *Degumming water* merupakan proses pemurnian untuk mengikat gum yang terdapat didalam minyak dengan penambahan air, sehingga didapatkan minyak dengan kualitas terbaik. Bahan baku berupa minyak sebanyak 400gram dipanaskan hingga suhu 70°C kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit air yang telah dipanaskan hingga suhu 70°C selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan pemisahan menggunakan *centrifuge* dengan kecepatan 400 rpm selama 3 menit. Pemisahan menggunakan *centrifuge* bertujuan untuk memisahkan minyak dengan *gum*. Setelah dipisahkan, minyak yang bebas *gum* dicampur dengan NaOH 11,67% selama 10 menit bertujuan untuk menetralkan asam lemak bebas pada minyak sehingga kadar *free fatty acid* (FFA) dari minyak dapat berkurang, hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya sabun. Kemudian dipisahkan dengan *centrifuge* dan disaring yang bertujuan untuk memisahkan minyak dengan sabun. Selanjutnya minyak dicuci dengan aquadest panas 70°C sampai pH aquadest netral. Minyak dipisahkan menggunakan corong pemisah untuk memisahkan dengan air yang dibuat untuk mencuci minyak. Ketiga bahan baku minyak yang digunakan dipanaskan sampai suhu minyak 80°C selama 5–10 menit untuk menghilangkan kadar air yang masih terikat dalam minyak.

### Pembuatan *Green Diesel* dengan Reaksi Hidrogenasi

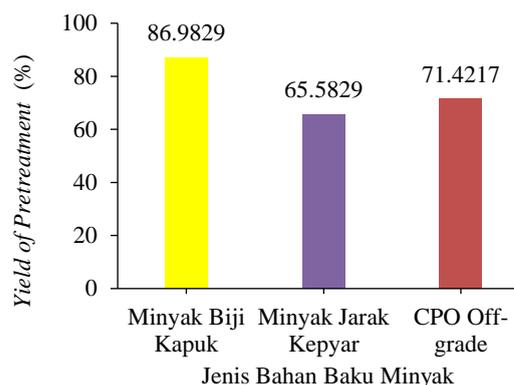
Bahan baku hasil *pretreatment* berupa minyak biji kapuk, minyak biji jarak kepyar, dan CPO *off-grade* yang bebas *gum* dan memiliki kadar FFA yang rendah sebanyak 200 gram, katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 60 mesh 10 gram, dan 0,0001 gram *sulfur powder* dimasukkan ke dalam reaktor tipe *batch*. Melakukan tes kebocoran untuk memastikan tidak ada kebocoran gas selama proses reaksi. Menginjeksikan gas H<sub>2</sub> hingga tekanan 30 bar, kecepatan pengadukan 400 rpm dan suhu 300°C selama 60 menit untuk reaksi *stage* (tahap) 1. Setelah reaksi selesai reaktor didinginkan dengan *blower* sampai mencapai suhu ruangan. Selanjutnya produk gas diambil dan dianalisa. Kemudian menginjeksikan gas H<sub>2</sub> baru untuk reaksi *stage* 2. Kondisi operasi pada *stage* 2 adalah suhu 400°C, tekanan 30 bar, kecepatan pengadukan 400 rpm selama 60 menit.

Setelah selesai reaktor didinginkan kembali dan produk gas diambil serta dilakukan analisa GC-TCD dan GC-FID. Produk cair berupa *green diesel* disaring untuk memisahkan dengan padatan katalis. Kemudian produk *green diesel* yang didapatkan dilakukan uji karakterisasi produk yang meliputi viskositas kinematik, *flash point*, *pour point*, *cloud point*, nilai kalor, kandungan sulfur, GC-FID liquid, densitas, angka asam, dan *cetane number*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pretreatment Bahan Baku

*Pretreatment* terdiri atas proses *degumming* dan netralisasi dengan tujuan untuk menghilangkan fosfolipid yang ada pada minyak dan menurunkan kadar FFA. Bahan baku minyak nabati memiliki kandungan yang berbeda. Pada minyak biji kapuk memiliki komposisi 70% asam lemak jenuh dan 30% asam lemak tak jenuh dengan kandungan asam lemak tertinggi adalah pada asam linoleat sebesar 38,92% (Dwi Siswani & Kristianingrum, 2015). Pada minyak biji jarak kepyar memiliki komposisi penyusun berupa minyak sebesar 54%, karbohidrat 13%, serat 12,5% abu 2,5% dan protein 18%. Kandungan asam lemak yang paling tinggi pada minyak biji jarak kepyar adalah asam risinoleat dengan jumlah 86% (Ketaren, 1986). Pada CPO *off-grade* komponen yang ada adalah trigliserida 95,62%, asam lemak bebas 4%, air 0,2%, fosfatida 0,07%, karoten 0,03% dan aldehyd 0,07% (Gunstone, 1997). Perbedaan komposisi dari masing – masing bahan baku minyak inilah yang menjadikan *yield* yang dihasilkan setelah proses *pretreatment* berbeda.



**Gambar 2.** Grafik persen *yield* setelah *pretreatment* bahan baku

Berdasarkan Gambar 2 yang menunjukkan grafik perolehan %*yield* berupa minyak yang siap digunakan untuk pembuatan *green diesel* karena bebas *gum* dan memiliki kandungan FFA yang rendah, dari hasil yang didapatkan pada proses *pretreatment* terhadap ketiga bahan baku. Perolehan %*yield* ini merupakan hasil pengolahan bahan baku minyak mentah menjadi minyak yang murni setelah

proses *pretreatment*. Diperoleh bahwa hasil yang paling tinggi terdapat pada minyak biji kapuk dengan %yield sebesar 86,9829%. Sedangkan pada CPO *off-grade* dihasilkan %yield sebesar 71,4217% dan pada minyak biji jarak kepyar adalah sebesar 65,5829%. Perbedaan hasil %yield pada bahan baku minyak setelah proses *pretreatment* ini membuktikan bahwa adanya fosfolipid (*gum*) serta tinggi atau rendahnya kadar FFA awal dari suatu minyak dapat mempengaruhi %yield yang didapatkan. Hal ini disebabkan karena pada setiap jenis minyak nabati mempunyai kandungan senyawa fosfolipid dan asam lemak bebas dengan jumlah yang berbeda untuk setiap jenis minyak. Penurunan kadar FFA pada bahan baku juga menjadi tolak ukur pada proses *pretreatment*. Pada minyak biji kapuk penurunan FFA adalah dari yang semula sebesar 4,2068% menjadi 0,5667%. Minyak biji kapuk mengalami penurunan kadar FFA sebesar 3,6401%. Pada minyak biji jarak kepyar penurunan kadar FFA adalah dari yang semula 8,2375% menjadi 4,8402%. Minyak biji jarak kepyar mengalami penurunan kadar FFA sebesar 3,3973%. Pada CPO *off-grade* penurunan kadar FFA adalah dari yang semula 2,3367% menjadi 0,9448%. Penurunan kadar FFA pada CPO *off-grade* sebesar 1,3919%. Berdasarkan kadar FFA akhir bahan baku dapat dilihat bahwa proses *degumming* water dinilai cukup efisien untuk meminimalkan kadar FFA dari minyak nabati. Hanya saja untuk minyak jarak kepyar masih memiliki kandungan FFA yang tinggi sehingga diperlukan proses *degumming* lain. Oleh karena itu, seharusnya diberikan perlakuan khusus untuk jenis minyak yang berbeda agar *pretreatment* yang dilakukan maksimal. Kadar FFA berpengaruh terhadap *yield* dan kualitas *green diesel* yang dihasilkan. hal ini dikarenakan kandungan FFA dibawah 1% mampu memaksimalkan *yield* dan kualitas dari *green diesel*. Sebaliknya apabila kandungan FFA minyak diatas 1% maka akan menghasilkan *yield* yang kurang maksimal serta kualitas dari *green diesel* yang kurang baik sehingga kadar FFA perlu diminimalkan dalam minyak.

**Sintesis Green Diesel**

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan beberapa data dari hasil percobaan sintesa *green diesel*. Tabel 1 memperlihatkan %yield dari produk cair berupa *green diesel* dari ketiga bahan baku minyak yang digunakan. *Yield* dari hasil proses hidrogenasi disini merupakan produk *green diesel* murni yang didapatkan setelah proses penyaringan untuk memisahkan antara produk cair berupa *green diesel* dengan padatan katalis. Hasil terbaik didapatkan pada percobaan dengan menggunakan bahan baku CPO *off-grade* dan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan %yield sebesar 96,4626%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat mempengaruhi %yield yang didapatkan seperti katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tersulfida merupakan katalis yang lebih aktif

dibandingkan dengan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Şenol, Viljava and Krause, 2005). Perbandingan hasil katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terdapat perubahan warna setelah terjadinya reaksi yaitu yang awalnya berwarna biru menjadi hitam; serta hijau menjadi hitam seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

**Tabel 1.** Yield dari hasil proses hidrogenasi

Sampel	Bahan		Yield (%)	Yield Average (%)
	Minyak	Katalis		
1	Biji Kapuk	NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,2943	95,7473
2	Biji Kapuk	NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96,0031	
3	Biji Kapuk	NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,9445	
4	Biji Kapuk	CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	94,7139	94,1583
5	Biji Kapuk	CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,8591	
6	Biji Kapuk	CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,9019	
7	Jarak Kepyar	NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,4669	95,4669
8	Jarak Kepyar	CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,6046	93,6046
9	CPO Off-grade	NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96,4626	96,4626
10	CPO Off-grade	CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,4041	93,4041



(a) Katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebelum HDO berwarna biru



(b) Katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sesudah HDO berwarna hitam



(c) Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebelum HDO berwarna hijau



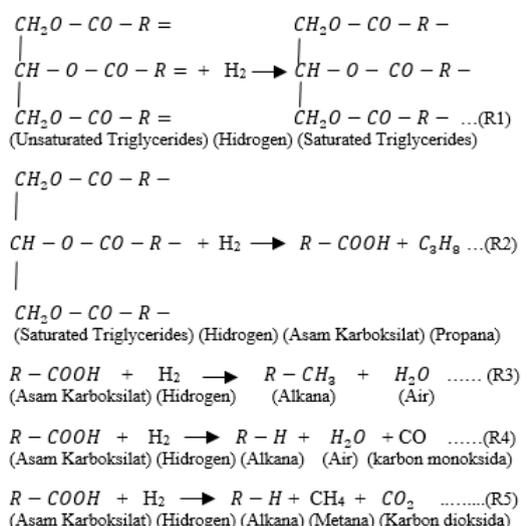
(d) Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sesudah HDO berwarna hitam

**Gambar 3.** Katalis sebelum dan sesudah HDO

### Hasil Analisa GC-TCD dan GC-FID

Pada produk gas dilakukan pengujian GC-TCD dan GC-FID. Uji GC-TCD dilakukan untuk mengetahui konsentrasi setiap kandungan produk gas non-organik yang dihasilkan dari proses pembuatan *green diesel*. Sedangkan uji GC-FID digunakan untuk mengetahui konsentrasi setiap kandungan produk gas organik yang dihasilkan dari proses pembuatan *green diesel*. Didapatkan bahwa hasil analisa produk gas *stage 1* adalah kandungan gas karbon monoksida, karbon dioksida, metana, etana, dan etilen masih rendah atau 0, dikarenakan proses *cracking* masih belum sempurna. Selain itu kandungan gas hidrogen juga berkisar antara 81,783-96,386 yang menandakan bahwa penggunaan gas hidrogen masih belum maksimal pada *stage 1* ini. Pada *stage 2* diperoleh bahwa kandungan gas karbon monoksida, karbon dioksida, metana, etana, dan etilen lebih tinggi dibandingkan dengan *stage 1*, Sedangkan untuk gas konsumsi gas hidrogen pada *stage 2* lebih banyak dari *stage 1* untuk semua sampel. Sehingga proses hidrogenasi *stage 2* pada ketiga bahan baku mengalami proses *cracking* yang lebih maksimal, karena proses *cracking* terjadi selama 2 jam. Selain itu, penggantian gas hidrogen yang baru pada *stage 2* membuat proses *cracking* menjadi lebih optimal.

Pada proses pembuatan *green diesel* terjadi tiga mekanisme reaksi yaitu HDO (hidrodeoksigenasi), DCO (dekarbonilasi) dan DCO<sub>2</sub> (dekarboksilasi). Mekanisme reaksi adalah sebagai berikut:

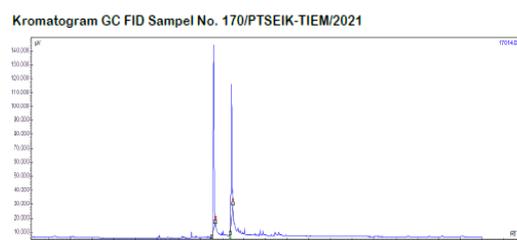


Adanya CO, CO<sub>2</sub> serta CH<sub>4</sub> menunjukkan terjadinya reaksi DCO dan DCO<sub>2</sub> sebagaimana dijelaskan pada mekanisme reaksi diatas (R4 dan R5). Reaksi DCO<sub>2</sub> lebih mendominasi dibandingkan dengan reaksi DCO. Hal ini dibuktikan dengan besarnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dibanding konsentrasi CO. Adanya gas etana dan etilen merupakan bukti terjadinya proses *cracking* langsung dari trigliserida (Sripta et al., 2014). Selama reaksi didapatkan pula propana namun tidak dapat

dikonversi konsentrasinya dikarenakan berhimpitnya *retention time* antara propana dan propylene. Pengaruh jenis minyak dari ketiga bahan baku yang digunakan terhadap proses HDO, DCO, dan DCO<sub>2</sub> yaitu dapat dilihat dari hasil konsentrasi gas yang dihasilkan dengan dilakukannya analisa berupa GC-TCD dan GC-FID. Didapatkan konsentrasi gas setelah proses berlangsung yaitu karbon monoksida, karbon dioksida, metana, etana, dan etilen serta sisa penggunaan gas hidrogen memiliki hasil yang berbeda untuk setiap jenis minyak yang digunakan. Sehingga diketahui bahwasannya proses HDO, DCO, dan DCO<sub>2</sub> yang berlangsung dapat dipengaruhi oleh karakteristik dari ketiga bahan baku minyak yang digunakan.

### Karakterisasi *Green Diesel*

Hasil pengujian GC-FID pada sampel *green diesel* dari CPO *off-grade* dengan katalis NiMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Kromatogram GC-FID sampel *green diesel* dari CPO *off-grade* dengan katalis NiMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Perbandingan pengujian dengan (SNI, Pertamina Dex) dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakterisasi pada *green diesel* dengan ketiga bahan baku yang digunakan. Berdasarkan Tabel 2, 3 dan 4 terdapat perbandingan mengenai karakterisasi *green diesel* dari ketiga bahan baku yang memenuhi dan tidak memenuhi SNI serta membandingkannya dengan Pertamina Dex. Tujuan dari membandingkan sampel produk *green diesel* dengan (SNI, Pertamina Dex) yaitu untuk mengetahui kualitas produk *green diesel* sudah sesuai atau belum dengan SNI dan mengetahui kualitas produk *green diesel* bisa lebih baik jika dibandingkan dengan Pertamina Dex yang merupakan bahan bakar diesel dengan *cetane number* tertinggi yaitu 53. Berdasarkan parameter yang ada didapatkan bahwa ketiga bahan baku memenuhi SNI biodiesel untuk parameter *flash point*, *pour point*, nilai kalor, kandungan sulfur, dan GC-FID liquid. GC-FID liquid dari sampel *green diesel* minyak biji kapuk dengan katalis NiMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> didapatkan tidak terdeteksi adanya *peak* selain solvent, hal ini dikarenakan konsentrasi dari senyawa yang ada masih rendah pada saat dilakukan analisa, akan tetapi hasil dari *green diesel* ini diyakini sudah terbentuk adanya senyawa hidrokarbon. Pada sampel *green*

*diesel* minyak biji kapuk dengan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta semua sampel *green diesel* minyak jarak kepyar dan CPO *off-grade* didapatkan hasil yaitu terdeteksi adanya senyawa hidrokarbon. Sedangkan untuk densitas pada bahan baku CPO *off-grade* memenuhi. Namun densitas *green diesel* pada bahan baku minyak biji kapuk dan minyak jarak kepyar belum memenuhi standar.

Hal ini dapat diatasi dengan proses *pretreatment* yang berbeda pada setiap bahan baku minyak, karena kandungan gum dan FFA dari setiap bahan baku minyak itu berbeda, contoh *pretreatment* yang lain adalah penggunaan degumming asam. Hal ini dikarenakan *gum* minyak bersifat hidrofilik dan hidrofobik (Mayalibit, Sarungallo and Paiki, 2020). Selain itu hasil *kinematic viscosity* pada *green diesel* dari ketiga bahan baku belum memenuhi standart karena fraksi berat seperti C<sub>19</sub> dan C<sub>20</sub> belum terpisah sehingga masih perlu proses fraksinasi untuk memisahkan hidrokarbon fraksi berat dari hasil *green diesel*. Pada parameter *cloud point* dan angka asam tidak dapat dilakukan pengujian dikarenakan hasil *green diesel* terlalu gelap sehingga perlu dilakukan proses absorpsi dengan karbon aktif.

Nilai *cetane number* untuk sampel *green diesel* dari ketiga bahan baku dengan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diperoleh hasil untuk bahan baku minyak biji kapuk sebesar 74,9; untuk bahan baku minyak jarak kepyar sebesar >75; dan untuk bahan baku CPO *off-grade* sebesar 69. Hasil yang didapatkan untuk semua sampel memenuhi SNI biodiesel yaitu minimal bernilai 51.

Proses hidrogenasi adalah proses yang digunakan dalam pembuatan *green diesel* dari ketiga bahan baku tersebut. Sehingga dari hasil yang didapatkan dinyatakan bahwa *green diesel* dapat dibuat dari minyak biji kapuk, minyak biji jarak kepyar, dan CPO *off-grade* menggunakan proses hidrogenasi dengan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Karakterisasi *green diesel* yang diuji meliputi *kinematic viscosity* 40°C, *flash point*, *pour point*, *cloud point*, nilai kalor, kandungan sulfur, GC-FID liquid, density, angka asam, *cetane number*. Sampel *green diesel* untuk semua bahan baku yang dihasilkan telah memenuhi SNI biodiesel. Hanya saja untuk nilai *kinematic viscosity* 40°C untuk semua sampel *green diesel* belum sesuai dengan standar SNI biodiesel. Hal ini disebabkan masih terdapat fraksi berat (*heavy oil*) pada produk *green diesel*, serta untuk nilai densitas pada sampel *green diesel* minyak biji jarak kepyar dan minyak biji kapuk belum memenuhi SNI biodiesel dikarenakan terdapat gum hidrofobik pada bahan baku awal yang belum terpisah secara maksimal.

Berdasarkan perbandingan karakteristik dari ketiga bahan baku minyak yang digunakan dapat diketahui berpengaruh terhadap hasil *%yield* dan kualitas dari produk *green diesel* yang dihasilkan. Hasil *green diesel* terbaik didapatkan pada bahan

baku CPO *off-grade* menggunakan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan *%yield* sebesar 96,4626%. Hasil karakterisasi didapat bahwa untuk parameter titik nyala, titik tuang, nilai kalor, kandungan sulfur, GC-FID liquid, massa jenis dan angka *cetane* memenuhi standar SNI Biodiesel. Secara keseluruhan berdasarkan perbandingan penggunaan katalis, katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tersulfidasi merupakan katalis yang lebih aktif dibandingkan dengan katalis CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tersulfida.

**Tabel 2.** Hasil analisa karakterisasi *green diesel* dari minyak biji kapuk dan SNI biodiesel

No	Parameter	Hasil Uji		Pertamina Dex - SPBU x
		Minyak Jarak Kepyar Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Katalis CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	<i>Kinematic Viscosity</i>			
1	40°C	108,315 mm <sup>2</sup> /s	123,468 mm <sup>2</sup> /s	2,597 mm <sup>2</sup> /s
2	<i>Flash Point</i>	>200°C	>200°C	82,5 °C
3	<i>Pour Point</i>	-21°C	-21°C	-3°C
4	<i>Cloud Point</i>	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>	-3
5	Nilai Kalor	9032,19 cal/g	9040,3 cal/g	10946,8 cal/g
6	Kandungan Sulfur	8,32 ppm	7,28 ppm	198 ppm
7	<i>GC-FID Liquid</i>	Terlam pir	Terlam pir	Terlampir
8	<i>Density</i>	0,931 gr/ml	0,907 gr/ml	0,828 gr/ml
9	Angka Asam	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>

**Tabel 3.** Hasil Analisa Karakterisasi Green Diesel dari Minyak Jarak Kepyar dan Pertamina Dex

No	Parameter	Hasil Uji	
		CPO <i>Off-grade</i> Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Katalis CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	<i>Kinematic Viscosity</i>		
1	40°C	49,14 mm <sup>2</sup> /s	47,922 mm <sup>2</sup> /s
2	<i>Flash Point</i>	192,5°C	>200°C
3	<i>Pour Point</i>	27°C	24°C
4	<i>Cloud Point</i>	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>
5	Nilai Kalor	9296,14 cal/g	9103,37 cal/g
6	Kandungan Sulfur	46,66 ppm	9,61 ppm
7	<i>GC-FID Liquid</i>	Terlampir	Terlampir
8	<i>Density</i>	0,873 gr/ml	0,888 gr/ml
9	Angka Asam	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>

**Tabel 4.** Hasil analisa karakterisasi *green diesel* dari CPO off-grade

No	Parameter	Hasil Uji		SNI 7182: 2015 Syarat Mutu Biodiesel 1
		Minyak Biji Kapuk		
		Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Katalis CoMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1	<i>Kinematic Viscosity</i> 40 °C	69,816 mm <sup>2</sup> /s	88,348 mm <sup>2</sup> /s	2,3 - 6,0 mm <sup>2</sup> /s
2	<i>Flash Point</i>	>200 °C	>200 °C	100 °C, min
3	<i>Pour Point</i>	15 °C	3 °C	-
4	<i>Cloud Point</i>	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>	18 °C, maks
5	Nilai Kalor	9240,29 cal/g	9159,12 cal/g	-
6	Kandungan Sulfur	34,74 ppm	32,1 ppm	50 ppm, maks
7	<i>GC-FID Liquid</i>	Tidak terdeteksi adanya peak selain solvent	Terlampir	-
8	<i>Density</i>	0,936 gr/ml	0,919 gr/ml	0,85 - 0,89 gr/ml
9	Angka Asam	n.d <sup>1</sup>	n.d <sup>1</sup>	0,5 mg-KOH/g; maks

Keterangan :

n.a = not available (tidak tersedia)

1 = Sampel gelap sehingga tidak dapat dianalisis

### SIMPULAN

Hasil *green diesel* dengan bahan baku CPO *off-grade* dan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah hasil terbaik dengan %*yield* sebesar 96,4626%. Hasil karakterisasi didapat bahwa *flash point*, *pour point*, nilai kalor, kandungan sulfur, GC-FID liquid, densitas, dan *cetane number* memenuhi standar SNI biodiesel. Sampel *green diesel* untuk semua bahan baku yang dihasilkan telah memenuhi SNI biodiesel. Hanya saja untuk nilai viskositas kinematik untuk semua sampel *green diesel* belum sesuai dengan standar SNI biodiesel karena terdapat fraksi berat

(*heavy oil*) pada produk *green diesel*. Serta untuk nilai densitas pada sampel *green diesel* minyak biji jarak kepyar dan minyak biji kapuk belum memenuhi SNI biodiesel dikarenakan terdapat gum hidrofobik pada bahan baku awal yang belum terpisah secara maksimal.

### SARAN

Agar produk yang dihasilkan tidak berwarna gelap, maka perlu dilakukan proses absorpsi dengan karbon aktif. Agar produk yang dihasilkan memiliki viskositas kinematik yang sesuai dengan SNI biodiesel, maka perlu dilakukan proses fraksinasi untuk memisahkan hidrokarbon fraksi berat dari hasil *green diesel*. Agar produk yang dihasilkan memiliki densitas yang sesuai dengan SNI biodiesel, maka perlu dilakukan proses *pretreatment* yang berbeda untuk setiap bahan baku minyak seperti *degumming* asam untuk memaksimalkan pemisahan *gum* yang sukar terhadap air (hidrofobik).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Teknologi Sumber Daya Energi & Industri Kimia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTSEIK BPPT) atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan penelitian sehingga dapat menyelesaikan laporan ini

### DAFTAR PUSTAKA

- Afshar Taromi, A. and Kaliaguine, S. (2018) 'Green diesel production via continuous hydrotreatment of triglycerides over mesostructured  $\gamma$ -alumina supported NiMo/CoMo catalysts', *Fuel Processing Technology*, 171, pp. 20–30. doi:10.1016/j.fuproc.2017.10.024.
- Dwi Siswani, E., & Kristianingrum, S. (2015). SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPUK RANDU (Ceiba pentandra L) SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM KAPUK SEED OIL (Ceiba Pentandra L) AT VARIATION STIRRING DURATION IN TRANSESTERIFICATION PROCESS. In J. Sains Dasar (Vol. 4, Issue 2).
- Gunstone, F.D. (1997) 'Lipid Technologies and Application', Marcel Dekker Inc.
- Habibie, M.I. et al. (2019) *Pembuatan Green Diesel dari Minyak Biji Kapuk (Ceiba Pentandra) dengan Proses Hidrodeoksigenasi menggunakan Katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *Jurnal Teknik Kimia UPN Veteran Jawa Timur*.
- Heriyanto, H. et al. (2018) 'Synthesis of Green Diesel from Waste Cooking Oil Through Hydrodeoxygenation Technology with

- NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts', in *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences.  
doi: 10.1051/mateconf/2018156 03032.
- KESDM. (2020) 'Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia', *Team Handbook Steering Committee*, ISSN 2528-3464.
- Ketaren, S. (1986). 'Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan', *UI Press*, ISBN : 9798034058.
- Mayalibit, A.P., Sarungallo, Z.L. and Paiki, S.N. (2020) 'Pengaruh Proses Degumming Menggunakan Asam Sitrat Terhadap Kualitas Minyak Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lamk)', *Agritechnology*, 2(1), p. 23. doi: 10.51310/agritechnology.v2i1.25.
- Ristanti, R.A. *et al.* (2020) 'PEMBUATAN GREEN DIESEL DARI MINYAK BIJI KAPUK (Ceiba pentandra) MENGGUNAKAN KATALIS NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> DENGAN PROSES HIDROGENASI DAN FRAKSINASI', *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), pp. 15–20. doi: 10.33005/jurnal\_tekkim.v15i1.2298.
- Salamah, Siti & Setyawan, Martomo 2010, 'Karakteristik Reaktor Hidrogenasi Minyak Biji Kapuk Untuk Pembuatan Green Diesel', *Spektrum Industri*, 11(1) pp. 27-36.
- Şenol, O.I., Viljava, T.R. and Krause, A.O.I. (2005) 'Hydrodeoxygenation of methyl esters on sulphided NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts', in *Catalysis Today*, pp. 331–335. doi: 10.1016/j.cattod.2004.10.021.
- Singh, D. *et al.* (2019) 'Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review', *Fuel*. Elsevier Ltd, pp. 60–71. doi: 10.1016/j.fuel.2019.04.174.
- Srifa, A. *et al.* (2014) 'Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS<sub>2</sub>/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst', *Bioresource Technology*, 158, pp. 81–90. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.100.
- Zikri, A. and Aznury, M. (2020) 'Green diesel production from Crude Palm Oil (CPO) using catalytic hydrogenation method', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. doi: 10.1088/1757-899X/823/1/012026