

Analisis Kalori Biodiesel *Crude Palm Oil* (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)

Istianto Budhi Rahardja^{1*}, Sukarman², Anwar Ilmar Ramadhan³

¹Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Jl. Gapura 8, Rawa Banteng, Setu, Cibitung, Bekasi, Jawa Barat 17520

²Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Watsukencana, Jl. Alternatife Bukit Indah-Purwakarta, Mulyamekar, Kab. Purwakarta, Jawa Barat 41151

³Teknik Mesin. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah No 27, Jakarta 10510

*Corresponding Author : istianto.rahardja@gmail.com

Abstrak

Biodiesel *crude palm oil* adalah bahan bakar nabati dengan menggunakan bahan baku minyak mentah sawit (*Crude palm Oil*(CPO)) dan abu tanda kosong kelapa sawit sebagai katalisnya. Abu tanda kosong mempercepat proses pembentukan biodiesel sehingga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, sehingga dapat dilakukan proses pembakaran. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh *Crude Palm Oil* menjadi Bahan Bakar Nabati berupa Biodiesel. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental. Dalam proses pembuatan *Crude palm oil* menjadi biodiesel terlebih dahulu diperhatikan *Free Fatty Acid* (FFA) yang terkandung didalamnya. FFA yang dapat langsung diproses untuk menjadi biodiesel adalah $\geq 2\%$ dengan menggunakan transesterifikasi dan CPO yang memiliki FFA $\leq 2\%$ diproses dengan esterifikasi. Hasil penelitian dengan mempergunakan Abu tanda kosong kelapa sawit sebagai katalis dapat membentuk CPO menjadi biodiesel. Nilai kalor yang dihasilkan oleh biodiesel berbahan dasar minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan katalis abu tandan kosong kelapa sawit adalah -1.382 kJ dari biodiesel yang terbentuk seberat 36,25 gr.

Kata kunci : nilai kalor, *Crude palm oil*, katalis, abu tandan kosong

Abstract

Biodiesel crude palm oil is biofuel using raw material Crude Palm Oil (CPO) and ashes bunches empty palm oil as its catalyst. The ash empety accelerate the process of forming biodiesel have value, high heat engine so as to be done at combustion in process. The purpose of this research was to give a Crude Palm Oil in be fuel vegetable in form of Biodiesel. Research methodology is by experimental. The process of making crude palm oil into biodiesel first considered Free Fatty Acid (FFA) contained therein. FFA that can directly processed to become biodiesel is $\geq 2\%$ using transesterification and CPO having FFA $\leq 2\%$ processed with esterification. The results of the research by The ash empety palm oil as a catalyst can form CPO into biodiesel. The heat engine produced by biodiesel are based oil palm (Crude Palm Oil) with catalyst ashes bunches of empty palm oil is - 1.382 kJ of biodiesel formed with 36,25 gr.

Keywords: Heat calory , *Crude palm oil* , catalyst, the ashes empety bunches

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak bumi semakin lama menipis ketersediannya, dimana kebutuhan bahan bakar tersebut dipergunakan untuk kebutuhan bahan bakar industri, pembangkit listrik, transportasi kendaraan serta rumah tangga. Ketersedian yang mulai menipis menjadi perhatian kita untuk mencari alternatif lain dalam mencari dan mengolah bahan baku menjadi bahan bakar minyak. Beberapa minyak baku yang dapat dijadikan sebagai bahan baku minyak yang terbuat dari hewani dan nabati. Minyak hewani dapat kita peroleh dari ikan, binatang ternak, dan lain-lain, sedangkan untuk minyak nabati dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan, seperti : tanaman aren, tanaman bunga matahari, tanaman jarak kepyar, tanaman kesambi, tanaman nyamplung, tanaman nyamplung, tanaman sagu, tanaman kelapa sawit, dan sebagainya (perkebunan, 2019). Minyak kelapa sawit yang lebih dikenal dengan Crude Palm Oil (CPO) merupakan salah satu alternatif minyak nabati yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar dalam bentuk biodiesel. Biodiesel memiliki keunggulan lebih baik dari minyak solar, dimana penyalaan yang lebih cepat dan reaksi pembakaran semakin cepat, sehingga memperoleh panas lebih tinggi (Dwipayana, 2016). Biodiesel dari CPO merupakan bahan bakar nabati (BBN) yang dapat diperbaharui, sehingga dalam proses penyediaan bahan baku tidak terlalu dirisaukan. Menurut Mardiah dkk, 2006, terdapat keuntungan yang dapat diperoleh dari biodiesel, yaitu : 20 % biodiesel dapat dicampur dengan 80 % minyak diesel tanpa merubah dan memodifikasi dari mesin yang dipergunakan,

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif pengganti solar yang menggunakan minyak nabati atau hewani dengan menggunakan proses fisika serta bahan kimia yang dicampurkan dengan komposisi yang tepat, sehingga menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan, mempunyai emisi yang

industri biodiesel dapat menggunakan lemak ataupun minyak yang telah daur ulang, biodiesel tidak beracun, angka cetana biodiesel diatas 100, penggunaan biodiesel dapat memperpanjang umur mesin karena biodiesel lebih licin, aroma gas buang dari biodiesel tidak menyengat. Apabila memberikan tambahan BBN biodiesel sebesar 0,4% - 5% pada minyak solar dapat meningkatkan daya pelumasan bahan bakar. Biodiesel memiliki rasio keseimbangan energi yang baik, yaitu minimum 1 – 2.5, dengan pengertian bahwa setiap satu unit energi yang digunakan pada pupuk, minimum terdapat 2.5 unit energi pada biodiesel (Alamsyah, 2006). Pengujian mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel memperoleh efisiensi dan daya mesin yang lebih besar dibandingkan dengan minyak diesel, dikarenakan temperatur gas buang yang dihasilkan lebih rendah, namun terjadi penurunan kualitas nilai kalor rata-rata 2%, angka cetana yang lebih tinggi, sehingga memperoleh waktu penyalaan yang lebih pendek (Murayama dkk, 2002). Tingginya viskositas biodiesel akan mengurangi atomisasi bahan bakar dan meningkatkan penetrasi bahan bakar semprot, yang akan mengakibatkan deposit (pemeliharaan) mesin tinggi dan penebalan minyak pelumas yang menyebabkan injeksi kokas dan cicincin sticking mesin, serta menurunkan efisiensi mesin (Alamu dkk, 2007). Nilai pembakaran yang terjadi pada bahan bakar (lilin cair) serta memberikan komposisi Oksigen dan Nitrogen yang tetap, maka nilai produk hasil pembakaran nitrogen yang terjadi adalah tetap (Rahardja dkk, 2019).

Biodiesel

rendah, dan dapat diperbaharui. Biodiesel dibentuk menggunakan trigliserida dari minyak ditambahkan metanol dibantu oleh katalis akan menghasilkan *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* (Van Gerpen, 2005).

Syarat mutu biodiesel menurut SNI 7182:2015 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji Alternatif
1	Massa jenis pada 40oC	kg/m ³	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40oC	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	oC, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	oC, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50oC)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	%-massa, maks		ASTM D 4530 atau ASTM D 189
	- dalam per contoh asli, atau		0,05	
	- dalam 10% ampas distilasi		0,3	
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	oC, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	
17	Angka iodium	%-massa(g-I ₂ /100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
18	Kadar monogliserida	%-massa, maks	0,8	ASTM D 6584
19	Kestabilan oksidasi	Menit		
	- Periode induksi metode rancimat, atau		360	EN 15751
	- Periode induksi metode petro oksidasi		27	ASTM D 7545

Sumber : SNI 7182 : 2015

Crude Palm Oil

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak mentah kelapa sawit merupakan hasil proses pengepressan buah sawit (mesocarp) yang berwarna kuning jingga berbentuk cair. Sifat fisik CPO pada suhu 25°C memiliki densitas antara 0,909-0,917 g/mL dan untuk suhu 55°C densitas CPO sebesar 0,888-0,892 g/mL (Wulandari dkk, 2011). CPO memiliki karakteristik (Ketaren S, 1986) sebagai berikut:

Rumus Kimia : $C_3H_5(COOR)_3$

Berat Molekul : 847.28 g/mol

Titik Didih : 298°C

Titik Beku : 5°C

Specific Gravity : 0.9

Densitas : 0.895 g/cm³

Panas Jenis : 0.497 kal/g°C

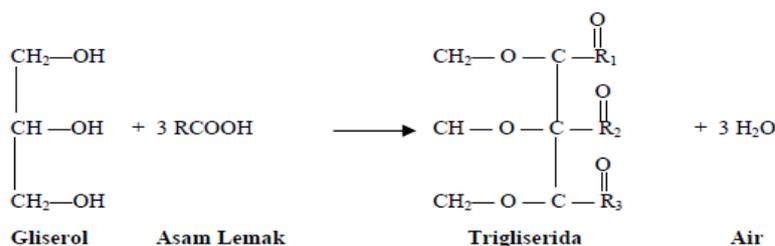
Kenampakan : Cairan Kuning Jingga

Kemurnian : 98%

Impuritas : Air 2 %

Reaksi Crude Palm Oil (CPO)

Minyak kelapa sawit memiliki susunan kimia stabil yaitu unsur C, H, dan O terdiri dari solid dan liquid/cairan. Fasa solid terdiri dari *Saturated Fatty* (lemak jenuh), sedangkan fasa cair terdiri *Unsaturated Fatty* (lemak tak jenuh). Lemak jenuh yang berada pada minyak kelapa sawit adalah asam miristat (1%), asam palmitat (45%), dan asam stearat. Sedangkan fasa cair terdiri dari asam oleat (39%) dan asam linoleat (11%). Kandungan lainnya kurang lebih 1% yang terdiri dari karoten, tokoferol, sterol, alkohol, triterpen, dan fosfolipida (Hudaya, 2010). Minyak sawit mengandung trigliserida, yang terbentuk dari ester dan asam lemak, reaksi kimianya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 1. Reaksi Pembentukan Trigliserida pada Minyak Kelapa Sawit

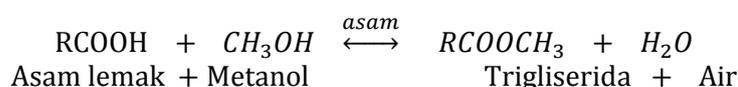
Pembentukan trigliserida adalah sama, dengan memiliki pengertian bahwa trigliserida yang sederhana. Pada pembentukan terdapat rantai rangkap, maka asam lemak yang terbentuk adalah asam lemak tak jenuh, apabila tidak ada rangkap maka akan terjadi sebaliknya. (Hudaya, 2010)

Reaksi Kimia

Dalam proses pembentukan bahan bakar biodiesel, menggunakan dua tahapan yaitu esterifikasi (penurunan Free Fatty Acid/Asam Lemak Bebas) dan transesterifikasi (pembentukan biodiesel menggunakan alkohol dan katalis).

Esterifikasi adalah proses yang sangat dibutuhkan dalam pembentukan biodiesel.

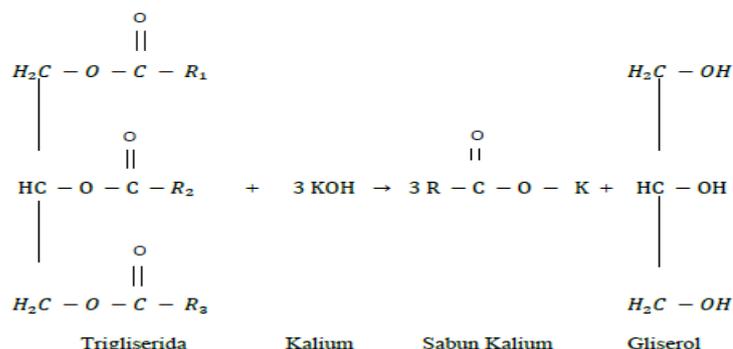
Tujuannya untuk penurunan asam lemak bebas (FFA), karena adanya FFA pembentukan biodiesel tidak sempurna dan berubah menjadi pembentukan sabun. Biodiesel dapat dibentuk apabila FFA di bawah 2% (Kurniasih, 2013). Reaksi ini mengubah asam karboksilat dan alkohol menjadi ester menggunakan katalis (asam), misalnya H_2SO_4 . Katalis asam sangat cocok digunakan untuk bahan yang mengandung asam lemak bebas yang tinggi, biasanya digunakan untuk bahan baku yang mutunya sangat rendah, misal CPO *off-grade* (Freedman, dkk. 1984). Reaksi Esterifikasi dengan katalis asam dapat dilihat di bawah ini (Aditya, 2009).



Gambar 2. Reaksi Esterifikasi

Apabila tidak dilakukan reaksi esterifikasi terlebih dahulu pada bahan baku yang mempunyai FFA yang tinggi akan terjadi reaksi

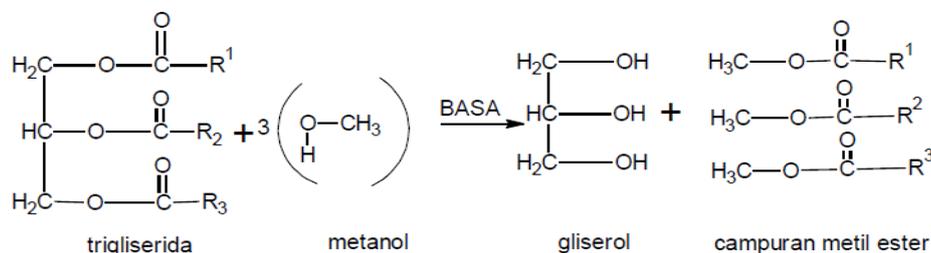
penyabunan, seperti reaksi kimia berikut ini (Budiman, 2014).



Gambar 3. Reaksi Penyabunan

Tahapan transesterifikasi adalah proses pembentukan biodiesel, yang menggunakan alkohol dibantu katalis mengubah trigliserida yang mempunyai viskositas yang tinggi menjadi

FAME, yang alkohol ini berganti dengan gliserin (Wilhelm dan Hermann, 2005). Reaksi transesterifikasi dapat dilihat di bawah ini (Tahir dan Yoewono, 2009).



Gambar 4. Reaksi Transesterifikasi

Menurut Hambali, dkk. (2017) reaksi transesterifikasi mempunyai dua cara, menggunakan katalis dan tanpa menggunakan katalis. Katalis yang digunakan adalah katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis merupakan suatu zat untuk mempercepat laju **Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit**

Katalis adalah zat kimia yang merupakan zat penambah dalam proses pembentukan biodiesel sehingga mempercepat proses pembentukan biodiesel. Pembentukan Katalis Heterogen dari tandan kosong kelapa sawit dapat dilakukan sebagai berikut:

- Ambil tandan kosong kelapa sawit
- Tandan kosong kelapa sawit dicacah
- Tandan kosong kelapa sawit yang sudah dicacah dikalsinasi atau dibakar pada suhu 150° C selama satu jam
- Abu yang dihasilkan diayak dengan saringan 100 mesh

reaksi itu sendiri. Prasetyoko dan Qoniah. (2010) menambahkan, apabila tidak menambahkan katalis, reaksi akan membutuhkan suhu, tekanan yang tinggi dan tentu memakan waktu yang lama.

- Setelah diayak abu kembali dioven selama dua jam dengan suhu 110° C
Katalis homogen sudah jarang digunakan, karena memiliki fasa yang sama sehingga sulit dipisahkan, namun mempunyai laju reaksi yang cepat. Penggunaan katalis homogen juga dapat menurunkan hasil (*yield*) biodiesel dan dapat bereaksi dengan FFA untuk membentuk sabun. (Gozan, dkk. 2007) beberapa katalis homogen adalah NaOH, KOH.

Menutupi kelemahan katalis homogen, ada katalis heterogen (padat) yang cukup mudah dalam pemisahan, yaitu dengan cara disaring. Mempunyai harga yang ekonomis karena dapat digunakan secara berulang-ulang. Katalis ini

juga ramah lingkungan, stabil pada suhu tinggi. (Sharma, dkk., 2011) beberapa katalis heterogen adalah CaOZnO , SrOSi , K_3PO_4 , K_2CO_3 , kalsium karbonat (CaCO_3) yang dibakar pada suhu dan waktu tertentu ke Kalsium Oksida (CaO). Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS) dapat digunakan sebagai katalis yang bersifat heterogen, pada penelitian banyak yang menggunakan abu tandan kosong sebagai katalis pada transesterifikasi, bahkan reaksi esterifikasi. Fauzi (2005) menjelaskan bahwa tandan kosong kelapa sawit sebagai limbah Pabrik Kelapa Sawit yang hanya dijadikan mulsa maupun mediasi tanam jamur, dapat dijadikan sumber katalis K_2CO_3 .

Nilai Kalori

Nilai kalori adalah jumlah energi yang terlepas dari benda dan sebagai pengukuran besarnya energi panas yang dapat diberikan kepada lingkungan sekitar pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm. Besarnya nilai kalor akan berbanding terbalik dengan densitas yang dimilikinya, semakin besar nilai densitas yang dimilikinya, maka nilai kalor akan semakin rendah (Hartono dkk, 2016). Nilai kalor yang telah diisyaratkan oleh pemerintah untuk biodiesel adalah $42,7 \text{ MJ/kg}$ (SNI 7182:2015). Temperatur titik nyala pembakaran biodiesel adalah antara $172,5\text{-}188,5^\circ\text{C}$ (Siswani dkk, 2012). Perpindahan panas yang terjadi pada biodiesel dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = H \text{ prod} - H \text{ reaktan}$$

Dimana :

Q= Perpindahan panas (kJ/kmol)

H prod= Entalpi produk (kJ/kmol)

H reakt= Entalpi reaktan (kJ/kmol)

Massa Jenis

Massa jenis merupakan parameter pengukuran massa benda dengan volume yang dimilikinya. Massa jenis (densitas) akan meningkat kerapatan ikatan massa benda dan volume yang lebih kecil. Proses massa jenis dipengaruhi oleh bertambahnya temperatur pada benda. Dengan temperatur yang tinggi, maka massa jenis benda kerja akan semakin mengecil. Densitas dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{M}{V}$$

Dimana :

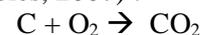
ρ = Densitas (kg/m^3)

M = Massa benda (kg)

V = Volume (m^3)

Reaksi Pembakaran

Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati dengan proses penambahan bahan kimia ataupun bahan alami untuk mempercepat pembentukannya. Bahan bakar/biodiesel yang dapat terbakar kita sebut produk (*product*), sedangkan hasil dari pembakaran akan membentuk unsur kimia yang lain, yang bisa disebut dengan reaktan (*reactant*). Pada keseimbangan pembakaran biodiesel dari minyak kepala sawit, dapat diekspresikan dengan persamaan berikut (Cengel dan Boles, 2007) :



Proses pembakarannya membutuhkan oksigen sebagai unsur kimia. Untuk memperoleh perbandingan massa udara yang dibutuhkan dalam pembakaran biodiesel (*Air-Fuel Ratio* (AF)) dituliskan sebagai berikut (Cengel dan Boles, 2007) :

$$\text{AF} = \frac{m \text{ udara}}{m \text{ bahan bakar}}$$

Enthalpi bahan bakar biodiesel (\bar{h}) adalah nilai kerja persatuan massa, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Cengel dan Boles, 2007) :

$$\text{Enthalpy} = \bar{h}^{\circ}\text{f} + (\bar{h} - \bar{h}_0)$$

Biodiesel yang telah mengalami pembakaran akan menghasilkan perpindahan panas total (Q). Keseimbangan proses pembakaran aliran tetap diekspresikan yaitu (Cengel dan Boles, 2007) :

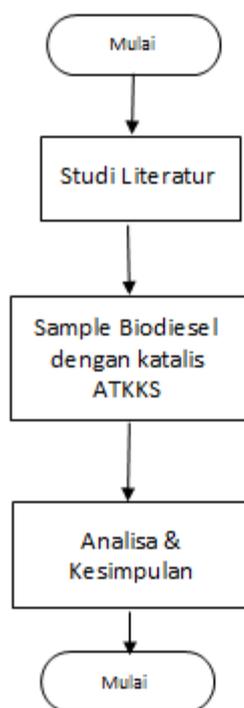
$$Q = H_{\text{product}} - H_{\text{reactant}}$$

Atau persamaan pembakaran aliran tetap dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = \sum N_{\text{product}} (\bar{h}^{\circ}\text{f} + \bar{h} - \bar{h}_0)_{\text{product}} - \sum N_{\text{reactant}} (\bar{h}^{\circ}\text{f} + \bar{h} - \bar{h}_0)_{\text{reactant}}$$

METODOLOGI

Dalam proses penelitian ini penulis membuat skema berfikir yaitu:



Gambar 5. Skema Berfikir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Massa Jenis

Minyak Kelapa Sawit/Crude Palm Oil (CPO) yang telah dilakukan esterifikasi dan transesterifikasi akan membentuk biodiesel. Dalam pembentukannya biodiesel dengan katalis ATKKS dan berat katalis diberikan, maka dapat diperoleh massa jenis sebagai berikut:

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{A-B}{C} = \frac{\text{massa pikno isi} - \text{massa pikno kosong}}{\text{volume pikno}}$$

Dimana :

ρ = Densitas (g/mL)

A = Massa pikno isi (g)

B = Massa pikno kosong (g)

C = Volume pikno (25 mL)

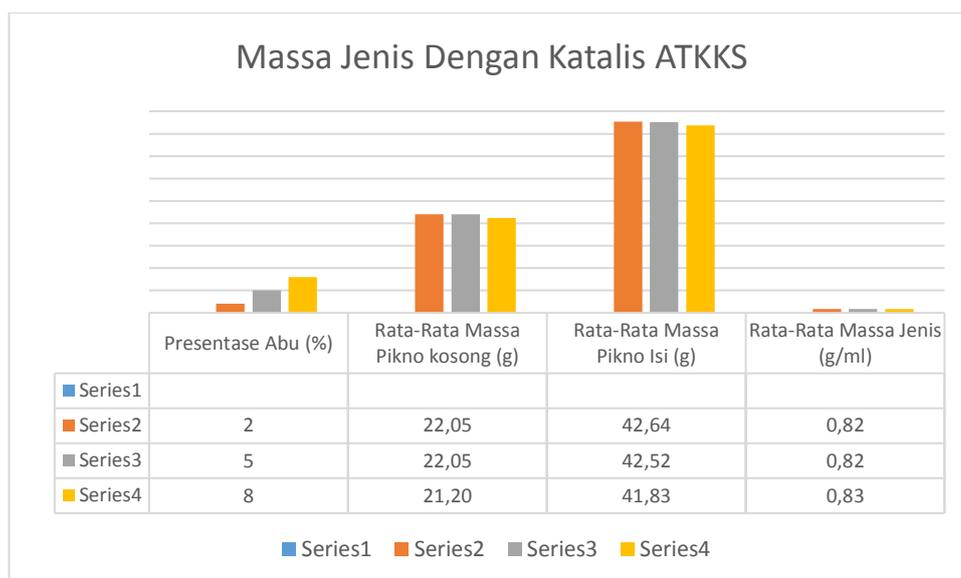
$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{43,28 \text{ g} - 22,90 \text{ g}}{25 \text{ mL}} = 0,82 \text{ g/mL}$$

Tabel 2. Massa Jenis Biodiesel dengan Katalis ATKKS

Presentase ATKKS (%)	Pengujian	Massa Pikno kosong (g)	Masa Pikno Isi (g)	Massa Jenis (g/ml)
2	1	20,35	41,39	0,84
	2	22,90	43,25	0,81
	3	22,90	43,28	0,82
Rata-Rata		22,05	42,64	0,82
5	1	20,35	40,85	0,82
	2	22,90	43,31	0,82
	3	22,90	43,40	0,82
Rata-Rata		22,05	42,52	0,82
8	1	20,35	40,91	0,82
	2	20,35	41,02	0,83
	3	22,90	43,57	0,83
Rata-Rata		21,20	41,83	0,83

Dengan melihat data tabel di atas menunjukkan adanya keterkaitan antara massa jenis dari biodiesel yang dibentuk oleh katalis ATKKS,

dimana semakin banyaknya katalis yang diberikan, maka massa jenis akan semakin bertambah



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Rasio ATKKS dengan Densitas

Dengan melihat grafik di atas, menunjukkan bahwa penambahan presentase ATKKS sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel, semakin meningkatkan massa jenisnya.

A. Yield

Berat CPO atau berat sampel untuk reaksi transesterifikasi dibagi dengan berat metil ester

setelah dilakukan pemisahan dari gliserol dan katalis. Sebagai contoh yaitu dengan perhitungan :

$$Yield = \frac{\text{massa metil ester}}{\text{massa CPO transesterifikasi}} \times 100\%$$

$$Yield = \frac{31,10 \text{ g}}{80,19 \text{ g}} \times 100 \%$$

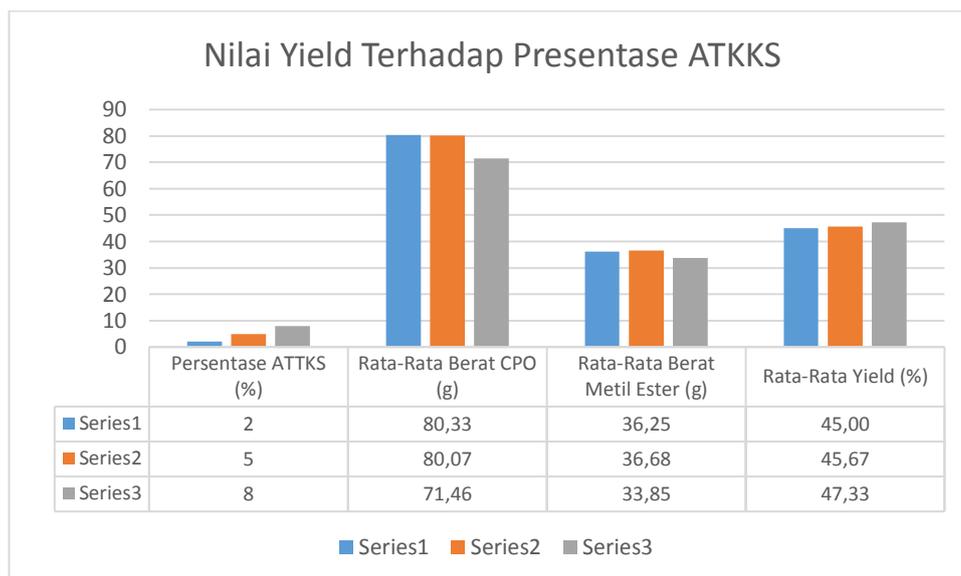
$$= 39 \%$$

Tabel 3. Nilai Yield Dengan Presentase Katalis ATKKS

Persentase ATKKS (%)	Pengujian	Massa CPO (g)	Massa Metil Ester (g)	Yield (%)
2	1	80,19	31,10	39,00
	2	80,02	36,90	46,00
	3	80,78	40,75	50,00
Rata-Rata		80,33	36,25	45,00
5	1	80,12	37,78	47,00
	2	80,00	36,31	45,00
	3	80,08	35,94	45,00
Rata-Rata		80,07	36,68	45,67
8	1	80,11	36,24	45,00
	2	54,13	26,23	48,00
	3	80,14	39,07	49,00
Rata-Rata		71,46	33,85	47,33

Pada tabel 2 dapat diperlihatkan nilai yield dari biodiesel yang terbentuk, dimana nilai yield biodiesel secara umum meningkat dengan

diberikannya penambahan ATKKS pada setiap percobaan.



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Rasio dengan Yield

Yield yang dihasilkan oleh ketiga rasio katalis paling tertinggi dicapai oleh rasio 8%, semakin banyak katalis yang digunakan dalam proses pembentukan biodiesel tersebut, maka akan mereaksikan pembentukan trigliserida dengan alkohol juga semakin cepat, dan membuat konversi metil ester yang tinggi.

Nilai Kalori Biodiesel

Proses pembakaran biodiesel berbahan dasar CPO akan menghasilkan karbon dioksida, air, oksigen, nitrogen, abu dan lain-lain. Pada keseimbangan energi pembakarannya dapat diperoleh unsur tersebut serta diketahui nilai temperatur yang dimiliki oleh hasil pembakaran tersebut. Dengan mengetahui nilai titik penyalan biodiesel sebesar 188,5°C, massa 36,25 gr (0,03625 kg) maka akan diperoleh nilai panas/kalor dari lilin, yaitu :

$$Q = Xa \cdot m \cdot Hc$$

$$Q = 100\% \times 0,03625 \text{ kg} \times 188,5^\circ\text{C} = 6,83 \text{ Watts}$$

Untuk panas efektif pembakaran dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta hc \text{ eff} = Xa \cdot Hc$$

$$\Delta hc \text{ eff} = 100\% \times 188,5^\circ\text{C} = 188,5^\circ\text{C}$$

Sedangkan untuk mengetahui emisi radiasi pembakaran dituliskan sebagai berikut :

$$Xr = Qr/m \cdot Hc$$

$$Xr = 6,83 \text{ Watts} / (0,03625 \text{ kg} \times 188,5^\circ\text{C})$$

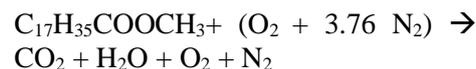
$$Xr = 0,99$$

Keseimbangan Energi

Keseimbangan energi adalah kestabilan zat/benda dalam proses merubah bentuk dari satu bentuk ke dalam bentuk lain, dengan tidak mengurangi ataupun melebihi zat yang telah merubah bentuknya. Perubahan zat dalam bentuk padat akan dapat berubah dalam bentuk cair dan gas, serta besar massa bentuk awal adalah sama seperti bentuk yang telah berubah. Proses ini dikatakan keseimbangan bentuk dan energi dalam bentuk lain.

Metil Ester Asam Lemak Sebagai Komponen Biodiesel, Metil ester asam lemak memiliki rumus molekul $C_{n-1}H_{2(n-r)-1}CO-OCH_3$ dengan nilai n yang umum adalah angka genap antara 8 sampai dengan 24 dan nilai r yang umum 0, 1, 2, atau 3. Beberapa metil ester asam lemak yang dikenal adalah : Metil stearat, $C_{17}H_{35}COOCH_3$ [n = 18 ; r = 0].

Dalam proses pembakaran biodiesel dapat dituliskan persamaan kimia sebagai berikut:



Dengan mengetahui besar biodiesel yang terbentuk yaitu sebesar 36,25 gr (nilai rata-rata pembentukan biodiesel 2% ATKKS dengan 80,33 gr CPO), biodiesel akan terbakar secara sempurna dengan perbandingan udara bahan bakar sebesar 20:1, sehingga menghasilkan reaksi karbon dioksida (CO₂), air (H₂O), Oksigen (O₂), dan nitrogen (N₂) di dalam pembakarannya.

Tabel 4. Unsur Reaktan Biodiesel

Unsur Reaktan	Berat Bahan	Bobot Molekul	Mol
	(g)	(g/mol)	(mol)
C ₁₇ H ₃₅ COOH ₃	36,25	286,00	0,13
O ₂	725,00	32,00	22,66
N ₂	2.726,00	28,00	97,36
Jumlah			120,1

Untuk memperoleh nilai mol dari setiap unsur dapat diperoleh (C =12, O=16, H=1, N=12) :

Bobot molekul = (12*17)+(1*35)+(12*1)+(16*2)+(1*3) = 286 gr/mol

Mol = 36,25 gr : 286 gr/mol = 0,13 mol

Sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

0,13 mol C₁₇H₃₅COOCH₃ + 22,66mol O₂ + 97,36mol N₂ → CO₂ + H₂O + O₂ + N₂

Unsur C 0,13 C₁₇ + C₁ = x C

2,34 = x

Unsur H 0,13 H₃₅ + H₃ = y H₂

$$y = 4,94 / 2 = 2,47$$

Unsur O 0,13 O₂ + 22,66 O₂ = x O₂ + y O + z O₂

$$0,26 O + 45,32 O = 2,34 O_2 + 2,47 O + z O_2$$

$$z = 38,43 / 2 = 19,215$$

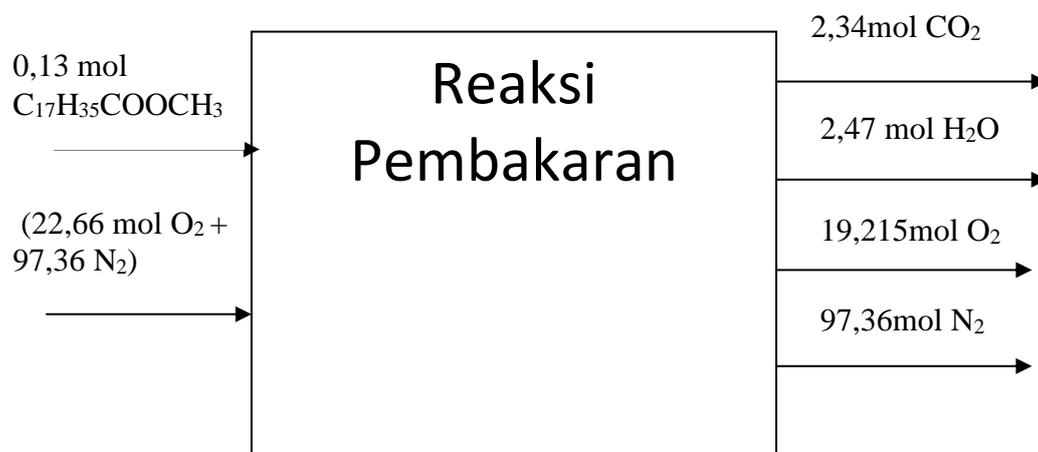
Unsur N 97,36 N₂ = w N₂

$$N = 97,36$$

Keseimbangan reaksi kimia yang terjadi pada pembakaran bahan bakar gas metan dapat diekspresikan sebagai berikut :

0,13 mol C₁₇H₃₅COOCH₃ + 22,66mol O₂ + 97,36mol N₂ → 2,34CO₂ + 2,47H₂O + 19,215O₂ + 97,36N₂

Gambar skematik untuk menunjukkan pembakaran biodiesel yang terjadi adalah:



Gambar 8. Skematik Reaksi Kimia Biodiesel

Perbandingan rasio udara dan bahan bakar (Air-Fuel Ratio(AF)) dapat diperoleh dengan :

$$AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(NM)_{air}}{(NM)_c + (NM)_{H_2}} = \frac{(20 \times 4,76 \text{ mol})(29 \frac{kg}{kmol})}{(2,34 \text{ mol})(12 \frac{kg}{kmol}) + (2,47 \text{ mol})(2 \frac{kg}{kmol})}$$

$$AF = 83,61$$

Tabel 5. Entalpi Reaktan & Produk Biodiesel

Unsur Reaktan	$h^{\circ}f$	h 30°C	h 1400°C	N	H Reaktan
		h 303 K	h 1673 K		
	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)		
C17H35COOCH3	46000	33,0	182,0	0,00013	6,0
O ₂	0	8739	55542	0,02266	1.060,6
N ₂	0	8725	53039	0,09736	4.314,4
Jumlah					5.381,0
Unsur Produk	$h^{\circ}f$	h 30°C	h 1400°C	N	H Produk
		h 303°C	h 1673°C		
	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)		
CO ₂	(393.520,0)	9.434,0	80.078,0	0,00234	(755,5)
H ₂ O(g)	(241.820,0)	9.968,0	66.129,0	0,00247	(458,6)
O ₂	0	8.739,0	55.542,0	0,01921	899,1
N ₂	0	8.725,0	53.039,0	0,09736	4.314,4
Jumlah					3.999,4

Pada tabel di atas, diperlihatkan nilai entalpi dari setiap unsur kimia yang terjadi pada pembakaran biodiesel CPO. Dengan mengetahui perhitungan entalpi setiap unsur kimia, maka dapat diperoleh entalpi reaktan dan produk.

$$H \text{ reaktan} = \sum N \text{ reaktan} (\bar{h}^{\circ}f + \bar{h} - \bar{h}_0) \text{ reaktan}$$

$$C17H35COOCH3 = 0,00013 \text{ kmol} \times (46.000 \text{ kJ/kmol} + 182 \text{ kJ/kmol} - 33 \text{ kJ/kmol}) \text{ reaktan}$$

$$H \text{ reaktan} = 6,0 \text{ kJ.kg/kmol}$$

$$H \text{ reaktan total} = \mathbf{5.381 \text{ kJ}}$$

$$H \text{ produk} = \sum N \text{ produk} (\bar{h}^{\circ}f + \bar{h} - \bar{h}_0) \text{ produk}$$

$$H \text{ produk total} = \mathbf{3.999,4 \text{ kJ}}$$

Dengan mengetahui produk dan reaktan yang dihasilkan dari pembakaran lilin CPO, maka dapat diperhitungkan panas (Q_{out}) yang dapat dihasilkan dari pembakaran yang terjadi, yaitu :

$$Q = H \text{ product} - H \text{ reactant}$$

$$q \text{ out} = H \text{ produk} - H \text{ reaktan}$$

$$Q = \sum N \text{ product} (\bar{h}^{\circ}f + \bar{h} - \bar{h}_0) \text{ product} - \sum N \text{ reactant} (\bar{h}^{\circ}f + \bar{h} - \bar{h}_0) \text{ reactant}$$

$$q \text{ out} = \mathbf{(3.999,4) - (5.381) = -1.382 \text{ kJ}}$$

KESIMPULAN

Biodiesel dengan menggunakan bahan dasar minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*(CPO)) memiliki nilai kalori sebesar -1.382 kJ yang dapat terbakar secara sempurna dengan perbandingan bahan bakar dan udara sebesar 20:1. Pembakaran sempurna dari biodiesel dipengaruhi oleh oksigen yang diberikan pada saat pembakaran. Biodiesel dengan menggunakan katalis ATKKS menghasilkan densitas dan yiled yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. R. P. 2009. Simulasi Integrasi Proses Produk Hilir Kelapa Sawit (Biogasoline, Biodiesel, Biopelumas), Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Alamsyah, Andi Nur. 2006. Biodiesel Jarak Pagar. Bogor: PT. Agromedia Pustaka
- Alamu O.J, Waheed M.A., Jekayinfa S.O., *Biodiesel Production from Nigerian Palm Kernel Oil: Effect of KOH Concentration on Yield*”, *Energy for Sustainable Development*, 2007, XI(3), p. 77-82.
- Budiman A., Ratna D. K., Yano S. P., Ni'mah A. L. 2014. Biodiesel : Bahan Baku, Proses, dan Teknologi. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

- Cengel, Yunus A dan Michael A. Boles (2007), *Thermodynamics, Six Edition, Mc Graw Hill*.
- Dwipayana, Hendra; 2016, Studi Analisa Pengaruh Sifat Fisik Biodiesel (Viskositas, Kadar Air Dan Angka Setana) Terhadap Proses Pembakaran Bahan Bakar Di Boiler *Fire Tube, Teknika Vol.3 No.1*.
- Fauzi, Y. 2005. Kelapa Sawit, Budi Daya Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisa Usaha dan Pemasaran, edisi revisi. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Freedman, B., E. H. Pryde and T. L. Mounts. 1984. *Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. J Am. Oil Chem. Soc* 1638 – 1643.
- Gozan, M., Nasikin, A. Wijanarko, dan H. Hermansyah. 2007. Riset Bahan Bakar Hayati (Bioethanol dan Biodiesel). Jakarta : Universitas Indonesia.
- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., Hendroko, R. 2017. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Hartono, Rudi; Rusdi , Anondho Wijanarko, Heri Hermansyah, 2016, Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Dedak Padi Dengan Proses Katalis Homogen Secara Asam Dan Katalis Heterogen Secara Basa, Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016.
- <http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/tanamandanperkebunan-penghasil-bahan-bakarnabati-bbn/>
- Hudaya, Beni. 2010. Penentuan β -Karoten dan Minyak Sawit yang Terikat pada Bentonit Setelah Digunakan sebagai *Bleaching*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Ketaren, S, 1986, Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, Universitas Negeri Malang.
- Kurniasih, E. 2013. Produksi Biodiesel dari Crude Palm Oil Melalui Reaksi Dua Tahap. Laporan Penelitian. Aceh: Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Mardiah ; Widodo, Agus ; Trisningwati, Efi ; Purijatmiko, Aries. 2006. *Pengaruh Asam Lemak dan Konsentrasi Katalis Asam terhadap Karakteristik dan Konversi Biodiesel pada Transesterifikasi Minyak Mentah Dedak Padi*. Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- Murayama, T., Fujiwara, Y., Noto, T.,2002, *Evaluating Waste Vegetable Oil As a Diesel Fuel*.
- Prasetyoko, D., Qoniah, I. 2010. Penggunaan Cangkang Bekicot sebagai Katalis Untuk Reaksi Transesterifikasi Refined Palm Oil. Prosiding Skripsi.
- Rahardja, Istianto; Rulan Dinary, Anwar Ilmar Ramadhan, 2019, Crystal Exergy Value (Wax) Crude Palm Oil (CPO) Influence Based On The Mixed Type, *Journal of Applied Science and Advanced Technology*, Volume 1 No. 3 April 2019
- Sharma, M. P., Jain, S. and Rajvanshi, S. 2011. *Acid Base Catalyzed Transesterification Kinetics of Waste Cooking, Oil Fuel Process. Technol.*, 92, 32 – 38.
- Siswani, Endang Dwi ; Susila Kristianingrum Dan Suwardi, 2012, Sintesis Dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Pada Berbagai Waktu Dan Suhu, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan Mipa, Fakultas Mipa, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012.
- SNI 7182 : 2015, Standar Mutu Biodiesel
- Van Gerpen, J. 2005. *Biodiesel Processing and Production, Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097-1107.
- Wilhelm Riemenschneider and Hermann M. Bolt. 2005. "Ester Organic" Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley –VCH. Weinheim
- Wulandari, Nur; Tien R. Muchtadi, Slamet Budijanto, dan Sugiyono, 2011, Sifat Fisik Minyak Sawit Kasar Dan Korelasinya Dengan Atribut Mutu, *J. Teknol. Dan Industri Pangan*, Vol. Xxii No.2.