


1056 / **Daryono et al.** / PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) Library

Workflow **Publication**

**Submission** Review Copyediting Production

**Submission Files** Search

 3740	<a href="#">a_nahm27, Jurnal Rekayasa Mesin.doc</a>	October 27, 2021	Article Text
--	---	------------------	--------------

Download All Files

**Pre-Review Discussions** Add discussion

Name	From	Last Reply	Replies	Closed
No Items				

## PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR

### Elvianto Dwi Daryono

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Kimia  
elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

### Lalu Mustiadi

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
lamusdi@yahoo.co.id

*Biodiesel is a renewable energy whose availability is very urgent. The process of transesterification of triglycerides and methanol is slow due to the low solubility of triglycerides in methanol. The limitation of mass transfer can be overcome by adding a co-solvent to increase the solubility so that a one-phase reaction will be formed. Co-solvent FAME is the right choice because it is the product of the reaction itself so that it does not require a separation process. The purpose of this study was to examine the use of FAME as a co-solvent in the transesterification of palm oil into biodiesel and its application to the combustion engine. The operating conditions of the study were palm oil mass of 250 gr, NaOH catalyst 1.2wt%, stirring speed 100 rpm, reaction temperature 70°C, ratio molar of oil:methanol = 1:6, reaction time (5,10,15,20,25,30 minutes), and co-solvent FAME (0,5,10,15wt%). After the optimum conditions are obtained, the next step is to make biodiesel on a semi pilot plant scale. Oil, methanol, NaOH and co-solvent FAME were put into a stirred reactor and heated at a reaction temperature of 70°C. After the reaction is complete then it is flowed into the separator for separation by adding hot water to form 2 layers. The bottom layer is water, glycerol, NaOH and residual methanol which is then distilled at 70°C. The distillate is methanol and the residue is water, glycerol and NaOH. The top layer is biodiesel which was analyzed according to SNI 7182:2012 and performance test on the combustion engine. The optimum condition of the process is a reaction time of 10 minutes and the addition of 10% co-solvent, with a yield of 76.7783%. The results of the analysis of SNI 7182:2012 states that biodiesel meets almost all requirements. From the biodiesel performance test on the combustion engine, B10 got quite satisfactory results for the torque and opacity test parameters.*

**Keywords:** transesterification, co-solvent, FAME, palm oil, combustion engine.

### 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan biodiesel yang sering dilakukan adalah proses transesterifikasi karena dapat menghasilkan yield yang relatif tinggi. Kendala pada proses transesterifikasi adalah kelarutan reaktan yaitu trigliserida dan metanol yang terbatas. Proses transesterifikasi dengan katalis basa memiliki laju reaksi yang lambat dan sering berhenti sebelum tercapai konversi sempurna. Trigliserida bersifat non polar sedangkan metanol bersifat polar sehingga sulit bercampur. Salah satu cara untuk mengatasi terbatasnya kelarutan reaktan pada proses transesterifikasi adalah dengan penambahan co-solvent.

Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan co-solvent telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak kedelai pada suhu reaksi 60°C, rasio volume co-solvent n-heksana:metanol = 0,4, waktu reaksi 9 detik, rasio volume minyak:metanol = 2 dan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi

FAME 98,81% [1]. Transesterifikasi minyak goreng bekas mendapatkan yield 72,7% pada rasio massa co-solvent aceton:metanol = 1:2, rasio molar minyak:metanol = 12:1, waktu reaksi 15 menit, suhu reaksi 27°C dan putaran pengaduk 600 rpm [2]. Transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO 3% wt., mendapatkan yield 98% pada massa co-solvent aceton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, waktu reaksi 2 jam dan suhu ruang [3]. Pada transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,2% wt., mendapatkan konversi 97,98% dengan massa co-solvent aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, suhu reaksi 55°C dan waktu reaksi 25 menit [4]. Transesterifikasi minyak kedelai dengan massa katalis CaO 30 mg, mendapatkan konsentrasi FAME 99% pada massa co-solvent iso-propanol 14,5%, rasio molar minyak:metanol = 20:1, waktu reaksi 6,5 menit dan suhu reaksi 65°C [5]. Pada transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan yield 92% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 50°C, rasio mol minyak:metanol = 1:3 dan massa co-solvent diesel oil 30% [6]. Transesterifikasi *rapeseed oil* dengan co-solvent dietil eter mendapatkan yield 97,6% pada rasio molar DEE:metanol = 1:1, rasio molar minyak:metanol = 1:9, waktu reaksi 2 jam, suhu reaksi 30°C, katalis KOH 0,7% wt. dan kecepatan pengadukan 700 rpm [7].

Pada proses transesterifikasi dengan co-solvent yang telah dilakukan, co-solvent yang digunakan harganya relatif mahal dan perlu proses pemisahan di akhir reaksi sehingga menambah panjang tahapan proses pembuatan biodiesel [8]. Alternatif co-solvent yang harganya murah dan tanpa proses pemisahan di akhir reaksi adalah metil ester yang merupakan produk reaksi transesterifikasi. Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan co-solvent metil ester telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak biji kapas dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 99,2% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 40°C, rasio mol minyak:metanol = 1:4,5 dan massa co-solvent metil oleat 34% [9]. Pada transesterifikasi canola oil dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan yield 97% pada waktu reaksi 1 jam, suhu reaksi 30°C, rasio mol minyak:metanol = 1:6 dan massa co-solvent FAME 20% [10].

Proses transesterifikasi dengan katalis NaOH dan co-solvent metil ester yang telah dilakukan belum mendapatkan yield yang memuaskan ditinjau dari waktu reaksi dan massa penambahan co-solvent FAME. Selain itu juga tidak dilakukan analisa total sifat fisik metil ester yang dihasilkan apakah sudah memenuhi standar biodiesel atau belum serta tidak dilakukan uji performance biodiesel yang dihasilkan pada motor bakar. Tujuan penelitian adalah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH dan co-solvent FAME dan aplikasinya pada motor bakar.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak kelapa sawit merk Sunco, HCl cair p.a (Sigma Aldrich, 37%), etanol cair p.a (Sigma Aldrich, 96%), indikator PP, KOH pellet p.a (Riedel-de Haen, 99%), metanol cair p.a (MERCK, 99,9%), acetone dan NaOH pellet p.a. (Riedel-de Haen, 99%).

### 2.2 Persiapan Bahan Baku.

Minyak kelapa sawit dilakukan analisa FFA dan kadar air. Jika % FFA  $\geq$  0,5% maka dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam, tetapi jika FFA < 0,5% bisa langsung dilakukan reaksi transesterifikasi. Jika kadar air > 1% maka dilakukan pemanasan pada suhu 110°C sampai kadar air  $\leq$  1%.

### 2.3 Pembuatan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dimasukkan dalam Erlenmeyer dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Setelah minyak kelapa sawit mencapai suhu 60°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 60°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam dan suhu reaksi 60°C. Hasil reaksi kemudian ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk menetralkan katalis dan dimasukkan corong pemisah selama 12 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan FAME kemudian dianalisa konsentrasi metil esternya dengan GC (*Gas Chromatography*).

### 2.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1,2% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dan co-solvent FAME (0, 5, 10, 15% wt. minyak) dimasukkan dalam Erlenmeyer dan

dipanaskan sampai suhu 70°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Setelah minyak kelapa sawit dan co-solvent mencapai suhu 70°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 70°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi (5, 10, 15, 20, 25, 30 menit) dan suhu reaksi 70°C. Setelah reaksi selesai sesuai variabel waktu penelitian, diambil sampel sebanyak 50 gram dan ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk netralisasi katalis NaOH agar reaksi berhenti. Sample kemudian dimasukkan dalam corong pemisah dan didiamkan selama ±12 jam agar terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan metil ester, minyak sisa reaksi dan impuritis lain yang terikut, kemudian didestilasi pada suhu ± 110°C untuk memisahkan impuritis yang masih terikut. Residu hasil destilasi kemudian disaring sehingga didapatkan metil ester yang berwarna jernih dan ditimbang sebagai massa produk. Metil ester kemudian dianalisa konsentrasi FAME menggunakan GC. Lapisan bawah merupakan campuran gliserol, sisa metanol dan hasil reaksi netralisasi katalis. Menghitung yield FAME dengan persamaan (1):

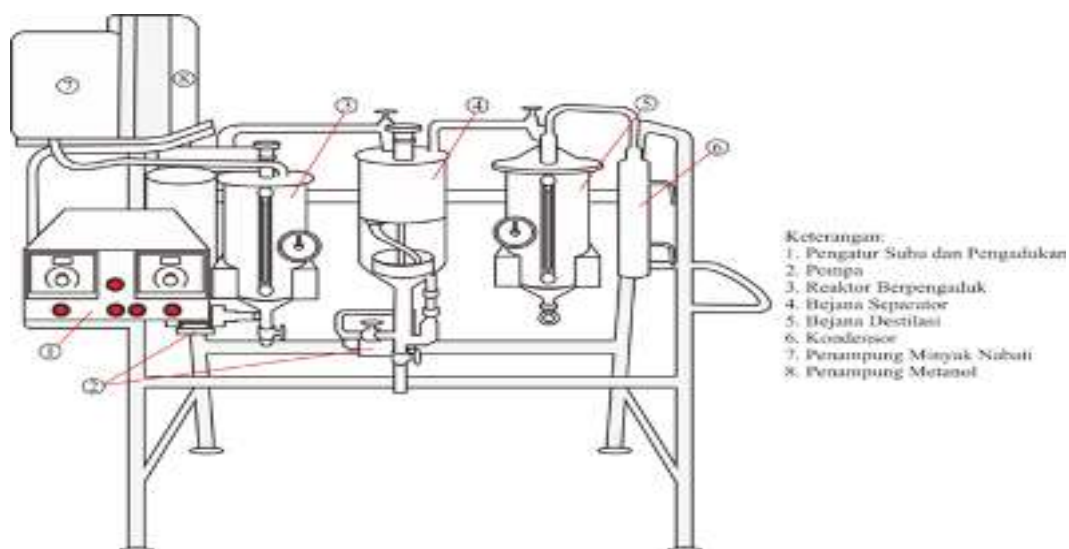
$$Yield = \left[ \frac{(M1 - M2) \times C1}{M3} \right] \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana M1 = massa produk, M2 = massa co-solvent, C1 = konsentrasi FAME dan M3 = massa minyak kelapa sawit awal.

## 2.5 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

Setelah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME, maka tahap berikutnya adalah membuat biodiesel skala semi *pilot plant* menggunakan alat pada Gambar 1. Biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan analisa kualitas biodiesel sesuai dengan SNI 7182:2012 dan uji *performance* biodiesel pada motor bakar.

## 2.6 Deskripsi alat.



**Gambar 1:** Alat produksi biodiesel skala semi *pilot plant*.

Mekanisme pembuatan biodiesel menggunakan alat pada Gambar 1:

Menimbang minyak 1,5 kg, katalis NaOH 1,2% wt. minyak (18 gr) dan rasio molar minyak:metanol = 1:6 (massa metanol = 291,2033 gr). Minyak kelapa sawit setelah ditimbang dimasukkan ke dalam penampung minyak nabati (7), begitu juga metanol dimasukkan ke dalam penampung metanol (8). Minyak kelapa sawit, metanol, katalis NaOH dan co-solvent FAME sesuai kondisi optimum proses dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk (3), diaduk dan dipanaskan pada suhu reaksi 70°C menggunakan pengatur suhu dan pengadukan (1), dengan waktu reaksi sesuai kondisi optimum proses. Setelah reaksi selesai, hasil reaksi kemudian dialirkan dengan pompa (2) menuju bejana separator (4) untuk proses pemisahan. Pada bejana separator (4) ditambahkan air panas yang volumenya sama dengan volume hasil reaksi untuk melarutkan

gliserol, katalis NaOH dan metanol yang tidak bereaksi. Di dalam bejana separator (4) dilakukan pengadukan dan mendekantasi hasil pencucian dengan air panas selama sekitar 1 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan bawah adalah hasil proses pencucian yaitu air, gliserol, katalis NaOH dan metanol sisa reaksi yang kemudian dialirkan dengan pompa (4) menuju bejana destilasi (5) yang dilengkapi dengan kondensor (6) yang dioperasikan pada suhu 70°C untuk menguapkan metanol ( $t_d$  metanol = 64,7°C). Produk bejana destilasi (5) ada 2 yaitu destilat adalah metanol yang kemudian ditampung dalam Erlenmeyer dan residu adalah air, gliserol dan katalis NaOH yang juga ditampung dalam wadah. Lapisan atas adalah produk biodiesel yang ditampung dalam wadah dan kemudian dilakukan analisa sesuai SNI 7182:2012 dan uji *performance* pada motor bakar.

## 2.7 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar

Uji *performance* biodiesel pada motor bakar meliputi uji torsi (N.m), waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar (detik), konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW) dan uji kepekatan (%).

## 3. HASIL DAN DISKUSI

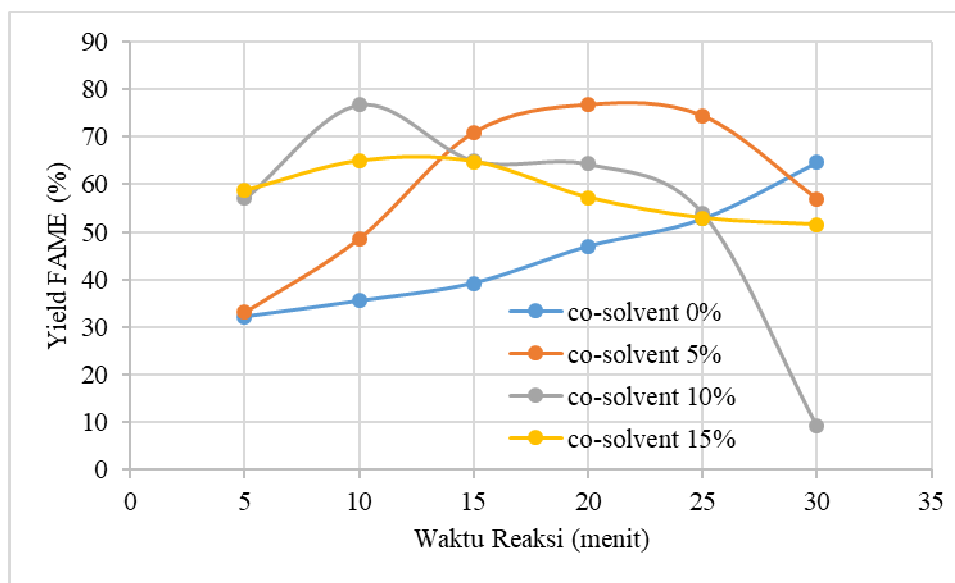
### 3.1 Persiapan bahan baku

Hasil analisa bahan baku minyak kelapa sawit didapatkan % FFA 0,12% dan kadar air 0,05%, sehingga minyak kelapa sawit bisa langsung digunakan untuk proses transesterifikasi.

### 3.2 Pembuatan *co-solvent* FAME

Dari hasil analisa GC didapatkan *co-solvent* FAME dengan konsentrasi 98%.

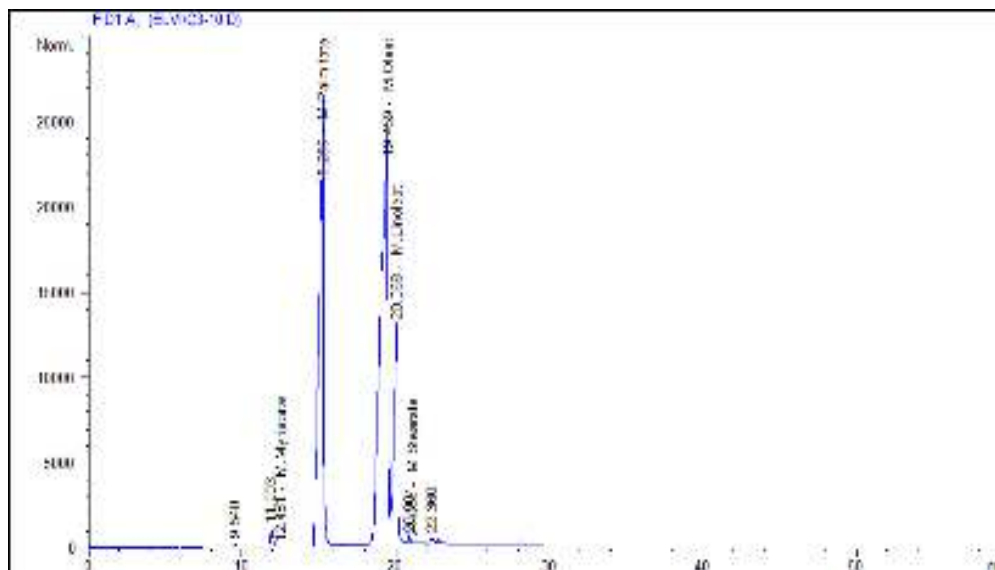
### 3.3 Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME



**Gambar 2:** Hubungan waktu reaksi dan yield FAME dengan variasi massa *co-solvent*.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa yield FAME optimum yang didapatkan berbeda-beda sesuai dengan variasi penambahan *co-solvent* FAME yang dilakukan. Pada penambahan *co-solvent* FAME 5%, yield FAME optimum yaitu 76,79717% didapatkan pada waktu reaksi 20 menit. Pada penambahan *co-solvent* FAME 10%, yield FAME optimum yaitu 76,7783% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit dan pada penambahan *co-solvent* FAME 15%, yield FAME optimum yaitu 64,9380% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit. Semakin banyak *co-solvent* FAME yang ditambahkan, semakin cepat reaksi mencapai kesetimbangan. Hal ini terjadi karena *co-solvent* FAME yang ditambahkan adalah produk dari reaksi itu sendiri sehingga jika reaksi kesetimbangan telah tercapai maka reaksi akan dengan cepat bergeser ke arah reaktan. Dengan bergesernya reaksi ke arah reaktan menyebabkan yield FAME yang didapatkan menurun, karena FAME yang sudah terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak kembali (reaksi transesterifikasi bersifat reversible) [11]. Gabungan antara penambahan *co-solvent* FAME dan massa katalis NaOH 1,2% wt. mempercepat reaksi

transesterifikasi mencapai kesetimbangan. Pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit tanpa co-solvent, yield FAME tertinggi yaitu 64,6471% didapatkan pada waktu reaksi 30 menit, dimana pada variabel tersebut belum didapatkan kondisi optimum.



**Gambar 3:** Kromatogram GC untuk transesterifikasi dengan co-solvent FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

Gambar 3 menunjukkan kromatogram hasil analisa GC untuk FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses.

**Tabel 1:** Komposisi FAME dengan co-solvent FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

FAME	KOMPOSISI (%)
Metil miristat	0,0316
Metil palmitate	6,5141
Metil oleat	92,7553
Metil linoleat	0,6596
Metil stearat	0,0394

Tabel 1 menunjukkan komposisi FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses. Komposisi FAME yang terbentuk identic dengan asam lemak penyusun trigliserida minyak kelapa sawit yaitu metil palmitate, metil oleat, metil linoleate dan metil stearat [12].

### 3.4 Pembuatan biodiesel skala semi pilot plant

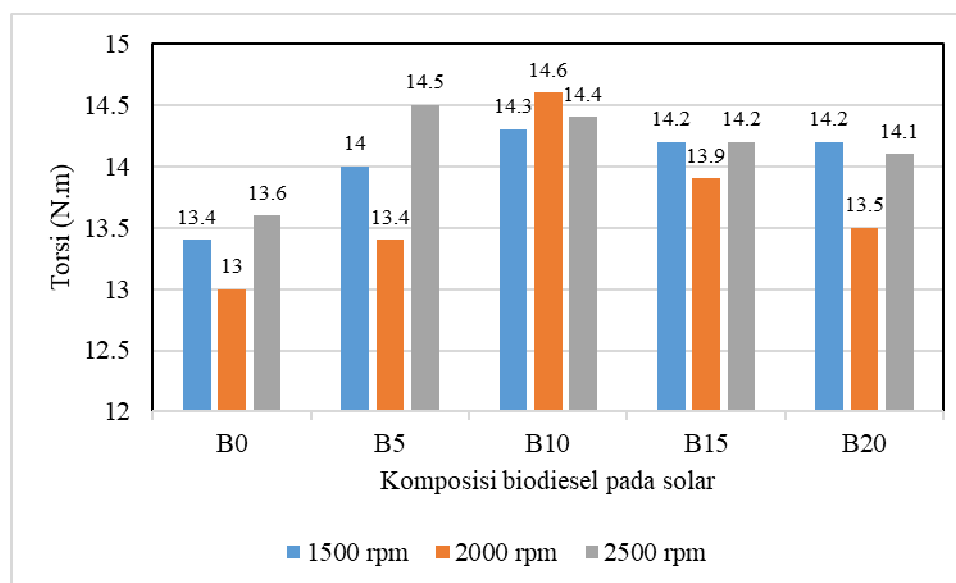
**Tabel 2:** Hasil analisa produk biodiesel pada kondisi proses optimum sesuai SNI 7182:2012.

PARAMETER	UNIT	HASIL	STANDARD	
			MINIMUM	MAXIMUM
Densitas pada 40°C	kg/L	0,8749	850 – 890	
Viskositas kinematic pada 40°C	cSt	4,56	2,3 – 6,0	
Cetane index	-	71,68	51	-
Flash point	°C	150	100	-

Cloud point	°C	13	-	18
Copperstrip corrosion (3 jam/50°C)	Merit	1a	Nomor 1	
Conradson carbon residue	%	0,02	-	0,05
Water content	%	0,08	-	0,05
Sedimen content	%	< 0,01	-	0,05
Temperature distilasi 90% vol.	°C	370	-	360
Sulfated ash	%	0,01	-	0,02
Sulfur (S)	%	0,20	-	100
Phospor (P)	ppm	< 10	-	10
Angka asam	%	0,05	-	0,6
Gliserol bebas	%	0,02	-	0,02
Gliserol total	%	0,12	-	0,24
Konsentrasi metil ester	%	97,95	96,5	-
Angka iodine	%	63,85	-	115
Stabilitas oksidasi (metode Rancimat)	jam	0,12	300 menit	

Pada Tabel 2 terlihat bahwa produk biodiesel yang dihasilkan memenuhi hampir semua standard biodiesel SNI 7182:2012 kecuali pada water content, temperature distilasi 90% vol. dan stabilitas oksidasi (metode Rancimat). Tidak terpenuhinya syarat water content disebabkan masih ada air sisa pencucian pada biodiesel karena proses pemisahan yang kurang sempurna. Tidak terpenuhinya syarat temperature distilasi 90% vol. disebabkan masih ada komponen lain dengan titik didih tinggi seperti minyak yang tidak bereaksi yang terikut pada produk biodiesel. Tidak terpenuhinya syarat stabilitas oksidasi (metode Rancimat) disebabkan karena alat penyimpanan yang tidak sesuai dan waktu penyimpanan sebelum dilakukan analisa yang terlalu lama, sehingga selama rentang waktu tersebut terjadi reaksi oksidasi pada produk biodiesel.

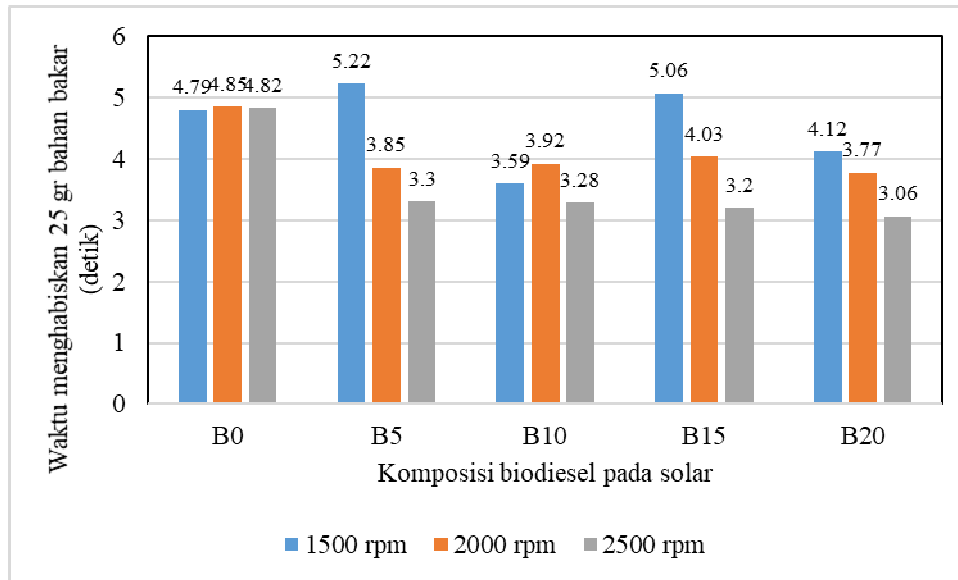
### 3.5 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar



**Gambar 4:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan torsi dengan variasi kecepatan putaran.

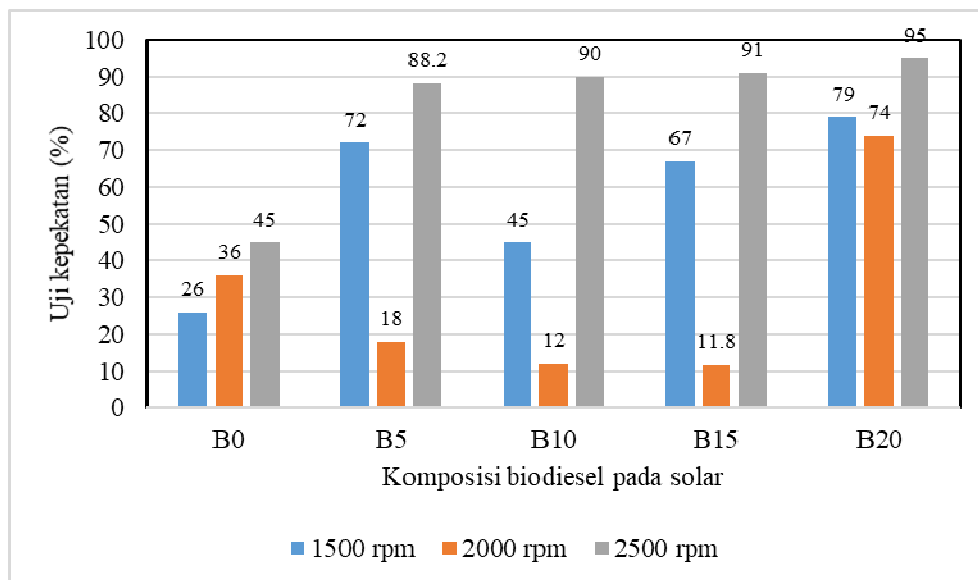
Pada Gambar 4 secara umum bisa dilihat bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan pada solar maka torsi juga akan semakin naik, tetapi ada kondisi optimum dimana torsi justru turun. Begitu juga se-

makin tinggi kecepatan putaran mesin maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Kondisi optimum didapatkan pada B10 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm yaitu mendapatkan torsi 14,6 N.m. Martin, *et al.* [13] mendapatkan nilai torsi 320 kg.m pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm. Penggunaan etanol murni mendapatkan nilai torsi 0,57 kg.m pada pengujian pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol 28° [14].



**Gambar 5:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa B5 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm merupakan kondisi optimum yaitu waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar paling lama 5,22 detik. Martin, *et al.* [13] mendapatkan laju aliran bahan bakar 172 kg/jam pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.



**Gambar 6:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan uji kepekatatan dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa B15 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm merupakan kondisi optimum yaitu nilai uji kepekatatan terkecil 11,8%. Semakin kecil nilai uji kepekatatan maka semakin baik karena semakin kecil kepekatatan gas buang yang dihasilkan. Wahyudi, *et al.* [15] mendapatkan nilai opasitas 49,43% untuk pengujian B20 minyak kelapa sawit pada mesin diesel.

Untuk nilai konsumsi bahan bakar specific, semua variable penelitian mendapatkan nilai yang sama yaitu 25 gr/kW. Martin, *et al.* [13] mendapatkan nilai nilai konsumsi bahan bakar specific 0,232 kg/kWh



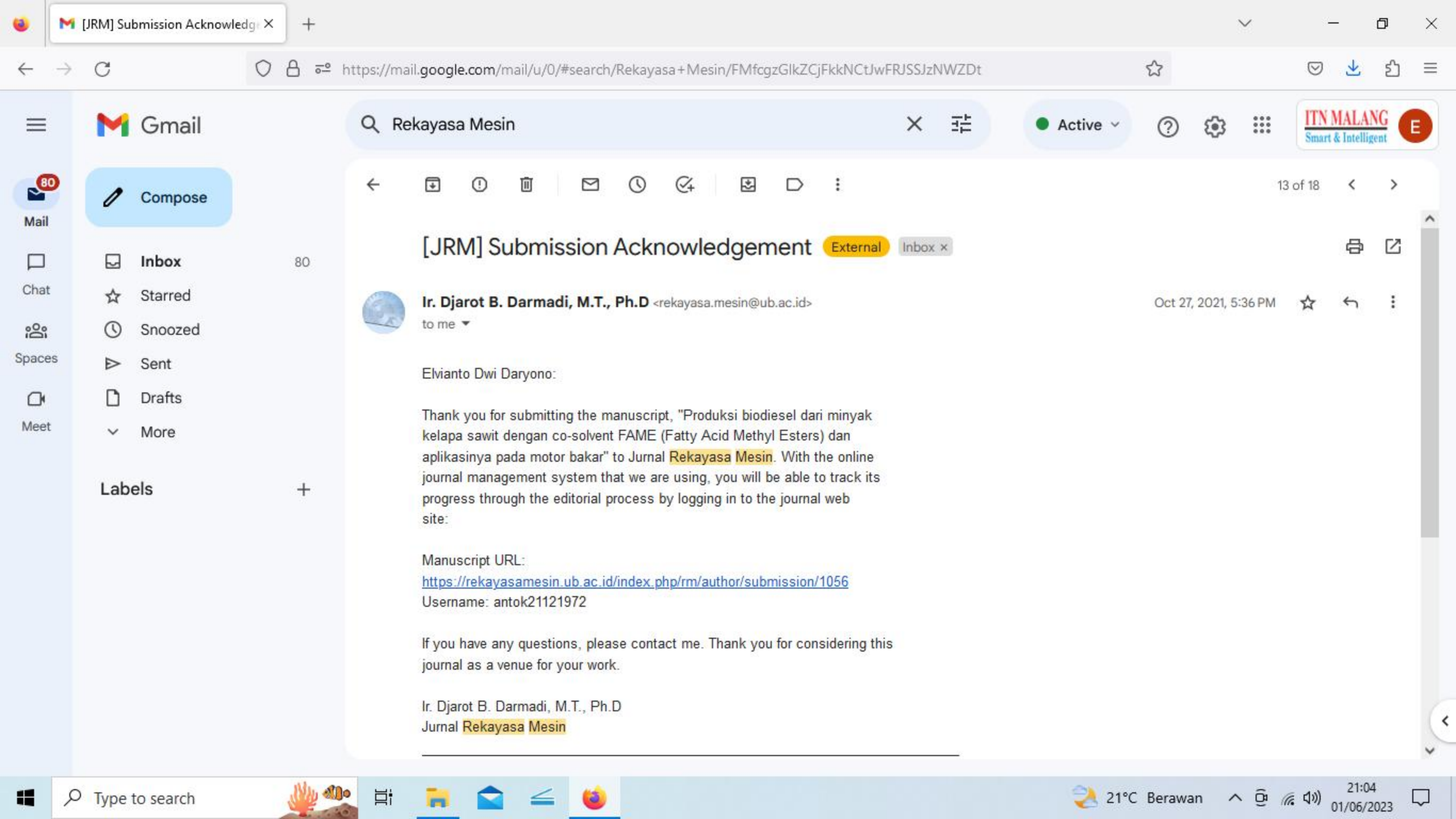
pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.

#### 4. KESIMPULAN

Kondisi optimum didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit pada waktu reaksi 10 menit dengan penambahan co-solvent FAME 10% dengan yield FAME 76,7783%. Dari hasil analisa standard biodiesel SNI 7182:2012, produk biodiesel pada kondisi proses optimum memenuhi hampir semua persyaratan sehingga layak diujicobakan pada motor bakar. Dari uji performance biodiesel pada motor bakar, B10 mendapatkan nilai yang cukup memuaskan untuk parameter torsi dan uji kepekatan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RAHIMI, M., MOHAMMADI, F., BASIRI, M., *et al.*, “Transesterification of soybean oil in four-way micromixers for biodiesel production using a cosolvent”, *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, v. 64, pp. 203–210, Apr. 2016.
- [2] JULIANTO, T.S., NURLESTARI, R., “The effect of acetone amount ratio as co-solvent to methanol in transesterification reaction of waste cooking oil”, *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*, v. 349, n. 012063, pp. 1 – 4, 2018.
- [3] LASKAR, I.B., DESHMUKHYA, T., BHANJA, P., *et al.*, “Transesterification of soybean oil at room temperature using biowaste as catalyst; an experimental investigation on the effect of co-solvent on biodiesel yield”, *Renewable Energy*, v. 162, pp. 98–111, 2020.
- [4] SINGH, V., YADAV, M., SHARMA, Y.C., “Effect of co-solvent on biodiesel production using calcium aluminium oxide as a reusable catalyst and waste vegetable oil”, *Fuel*, v. 203, pp. 360–369, Apr. 2017.
- [5] CHUELUECHA, N., KAEWCHADA, A., JAREE, A., “Enhancement of biodiesel synthesis using co-solvent in a packed-microchannel”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 51, pp. 162–171, 2017.
- [6] PARIDA, S., SAHU, D.K., MISRA, P.K., “Optimization of transesterification process by the application of ultrasound energy coupled with diesel as cosolvent”, *Journal of the Energy Institute*, v. 90, n. 4, pp. 556–562, 2016.
- [7] ENCINAR, J.M., PARDAL, A., SANCHEZ, N., “An improvement to the transesterification process by the use of co-solvents to produce biodiesel”, *Fuel*, v. 66, pp. 51–58, 2016.
- [8] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Transesterification of palm oil with NaOH catalyst using co-solvent methyl ester”, *International Journal of ChemTech Research*, v. 9, n. 12, pp. 570–575, 2016.
- [9] LE, H.N.T., IMAMURA, K., WATANABE, N., *et al.*, “Biodiesel production from rubber seed oil by transesterification using a co-solvent of fatty acid methyl esters”, *Chemical Engineering & Technology*, v. 41, n. 5, pp. 1013–1018, 2018.
- [10] UYEN, N.H.P., THAO, P.T.P., ASADA, R., *et al.*, “A new method for production of green biodiesel fuel using FAME as a co-solvent”, *Eco-Engineering*, v. 32, n. 3, pp. 61–67, 2020.
- [11] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Rapid in situ transesterification of papaya seeds to biodiesel with the aid of co-solvent”, *International Journal of Renewable Energy Research*, v. 7, n. 1, pp. , 2017.
- [12] MARLINA, E., BASJIR, M., ICHIYANAGI, M., *et al.*, “Role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel”, *Automotive Experiences*, v. 3, n. 1, pp. 33–38, 2020.
- [13] MARTIN, M., ANWAR, S., ZEIN, N., “Analisa perbandingan bahan bakar solar dengan biodiesel B-20 minyak kelapa sawit terhadap performance engine Komatsu Saa12V140E-3”, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, v. 02, n. 02, pp. 48–56, Okt. 2020.
- [14] RAZI, M., SISWANTO, E., WIJAYANTI, W., “Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol”, *Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 3, pp. 299–308, 2019.
- [15] WAHYUDI, D.A., RANTO, BASORI, “Analisis perbandingan biodiesel minyak sawit, minyak biji kepuh dan minyak jelantah terhadap emisi gas buang dan opasitas pada mesin diesel”, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan*, v. 11, n. 01, pp. 22–26, 2018.



Rekayasa Mesin

Active

Gmail

Compose

Mail

Inbox 80

Starred

Snoozed

Sent

Drafts

More

Labels

Navigation icons: back, add, info, delete, mail, clock, refresh, print, forward, menu

13 of 18

[JRM] Submission Acknowledgement External Inbox x

Ir. Djarot B. Darmadi, M.T., Ph.D <rekayasa.mesin@ub.ac.id>  
to me

Oct 27, 2021, 5:36 PM

Elvianto Dwi Daryono:

Thank you for submitting the manuscript, "Produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME (Fatty Acid Methyl Esters) dan aplikasinya pada motor bakar" to Jurnal **Rekayasa Mesin**. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL:  
<https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/author/submission/1056>  
Username: antok21121972

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Ir. Djarot B. Darmadi, M.T., Ph.D  
Jurnal **Rekayasa Mesin**

## revisi naskah JRM



### Participants

Mrs. Haslinda Kusumaningsih (haslinda89)

Elvianto Dwi Daryono (antok21121972)

### Messages

Note

From

Kepada Sdr. Elvianto D. D.

haslinda89

Berikut saya kirimkan saran perbaikan dari reviewer. Mohon segera ditindaklanjuti dan kirimkan kembali ke sistem. Atas perhatian dan partisipasinya, saya ucapkan terima kasih.

2022-04-09

11:48 PM

Hasil Review PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR Abstrak Persingkat abstrak menjadi tidak lebih dari 250 kata. Pendahuluan Perhatikan penulisan istilah asing dengan benar. Beri penjelasan singkat mengenai proses transesterifikasi. Pada paragraf kedua kanya melampirkan data hasil penelitian yang telah dilakukan tanpa menunjukkan kesinambungan antara kalimat sebelum dan sesudahnya. Berikan data kuantitatif dengan perbandingan penelitian lain yang telah dilakukan sehingga dapat memperkuat argumen kurang memuaskan Metode dan Bahan Buatlah diagram alir yang bisa mempresentasikan langkah-langkah penelitian secara lebih efisien secara efektif. Atas dasar pernyataan "Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam dan suhu reaksi 60oC", beri alasan melakukan penelitian dengan variabel tersebut. Perhatikan penulisan kata serapan yang benar Perhatikan penulisan istilah asing yang benar Hasil dan Diskusi Perhatikan penulisan istilah asing. Perhatikan kesalahan penulisan kata Tambahkan penjelasan mengenai kondisi optimum dalam proses. Tambahkan tabel yang bisa mempresentasikan semua

penelitian dengan variabel tersebut. Perbaiki penulisan kata serapan yang benar Perhatikan penulisan istilah asing yang benar Hasil dan Diskusi Perhatikan penulisan istilah asing. Perhatikan kesalahan penulisan kata Tambahkan penjelasan mengenai kondisi optimum dalam proses. Tambahkan tabel yang bisa mempresentasikan semua data yang telah diberikan. Gunakan studi anova untuk menjabarkan perbedaan untuk setiap variasi penelitian. Perbaiki grafik karena masih ada nominal angka yang bertabrakan. Tambahkan penjelasan mengenai pengujian performa yang akan dilakukan, seperti nilai kepekatan atau kecepatan dalam menghabiskan bahan bakar mempunyai pengaruh seperti apa terhadap performa kerja motor bakar itu sendiri. Kesimpulan Secara keseluruhan kesimpulan sudah menggambarkan hasil penelitian tetapi lebih baik jika menambahkan data kuantitatif sebagai pelengkap. Secara Keseluruhan Artikel Masih ada beberapa kalimat yang kurang sempurna. Mohon dicek lagi pola kalimatnya. Beberapa saran ada didalam manuscript. Artikel mempunyai nilai plagiasi sebesar 3%. Artikel mempunyai nilai keaslian yang baik.

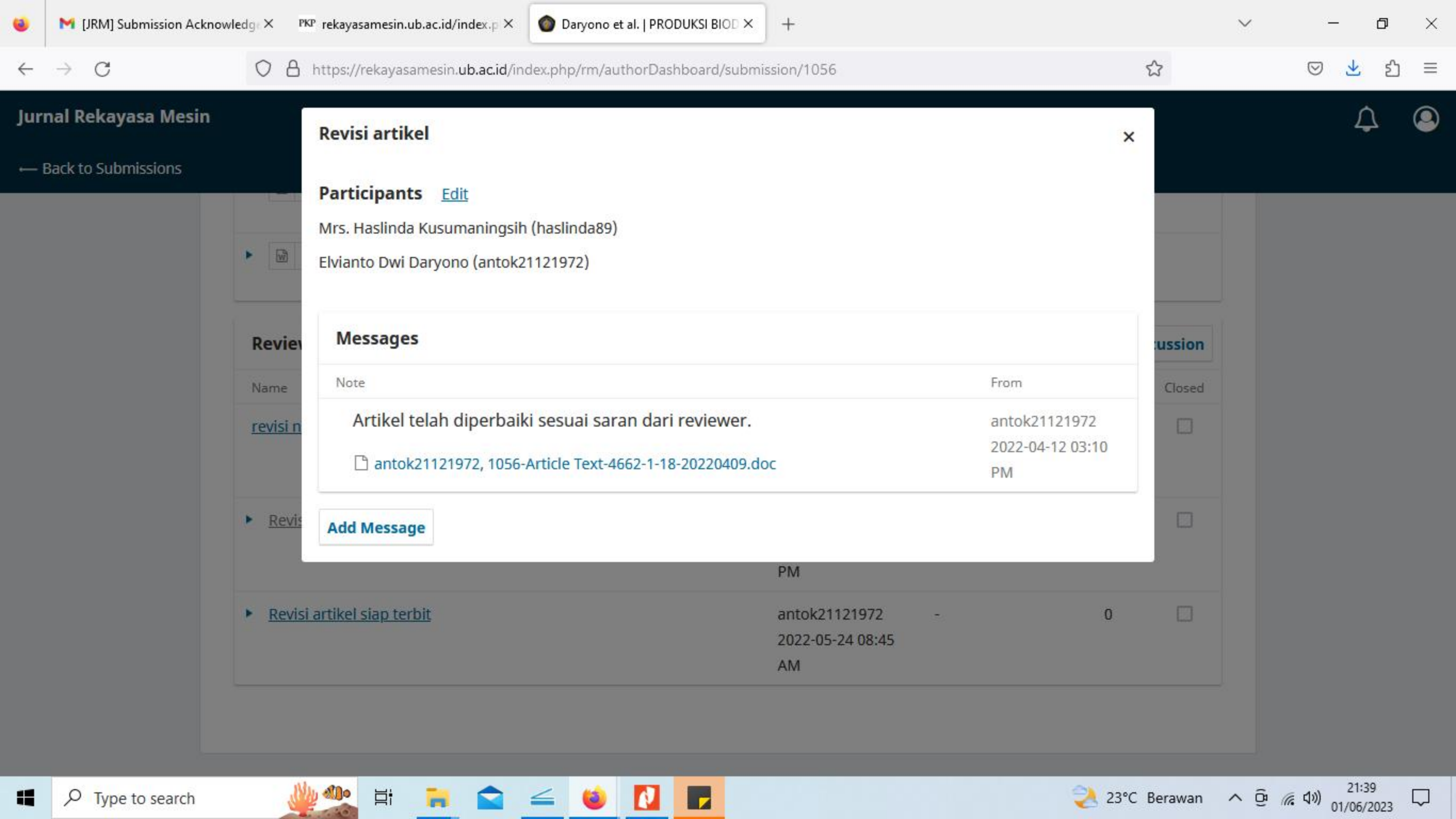
salam,

Haslinda

📎 [haslinda89, revisi.doc](#)

Add Message

6:09 AM  
1:56 AM  
Search  
Load File



### Revisi artikel



#### Participants [Edit](#)

Mrs. Haslinda Kusumaningsih (haslinda89)

Elvianto Dwi Daryono (antok21121972)

#### Messages

Note

From

Artikel telah diperbaiki sesuai saran dari reviewer.

antok21121972

2022-04-12 03:10

[antok21121972, 1056-Article Text-4662-1-18-20220409.doc](#)

PM

[Add Message](#)

PM

[Revisi artikel siap terbit](#)

antok21121972

-

0

2022-05-24 08:45

AM

## PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR

*The process of transesterification is slow due to the low solubility of triglycerides in methanol. The limitation of mass transfer can be overcome by adding a co-solvent. Co-solvent FAME is the right choice because it is the product of the reaction itself so that it does not require a separation process. The purpose of this study was to examine the use of FAME as a co-solvent in the transesterification of palm oil and its application to the combustion engine. The operating conditions were palm oil mass of 250 gr, NaOH catalyst 1.2% wt, stirring speed 100 rpm, reaction temperature 70°C, ratio molar of oil:methanol = 1:6, reaction time (5,10,15,20,25,30 minutes), and co-solvent (0,5,10,15% wt). After the optimum conditions are obtained, the next step is to make biodiesel on a semi pilot plant scale. Oil, methanol, NaOH and co-solvent were put into a stirred reactor and heated at a reaction temperature of 70°C. After the reaction is complete then it is flowed into the separator for separation by adding hot water to form 2 layers. The top layer is biodiesel which was analyzed and performance test on the combustion engine. The optimum condition of the process is a reaction time of 10 minutes and the addition of 10% co-solvent, with a yield of 76.7783%. The results of the analysis of SNI 7182:2012 states that biodiesel meets almost all requirements. From the biodiesel performance test on the combustion engine, B10 got quite satisfactory results for the torque and opacity test parameters.*

**Keywords:** transesterification, co-solvent, FAME, palm oil, combustion engine.

### 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan biodiesel yang sering dilakukan adalah proses transesterifikasi karena dapat menghasilkan *yield* yang relatif tinggi. Proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dari minyak dengan alkohol dimana yang sering dipakai adalah metanol menggunakan katalis basa membentuk metil ester atau biodiesel dan gliserol. Kendala pada proses transesterifikasi adalah kelarutan reaktan yaitu trigliserida dan metanol yang terbatas. Proses transesterifikasi dengan katalis basa memiliki laju reaksi yang lambat dan sering berhenti sebelum tercapai konversi sempurna. Trigliserida bersifat non polar sedangkan metanol bersifat polar sehingga sulit bercampur. Salah satu cara untuk mengatasi terbatasnya kelarutan reaktan pada proses transesterifikasi adalah dengan penambahan *co-solvent*.

Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak kedelai pada suhu reaksi 60°C, rasio volume *co-solvent* n-heksana:metanol = 0,4, waktu reaksi 9 detik, rasio volume minyak:metanol = 2 dan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 98,81% [1]. Penelitian selanjutnya menggunakan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak goreng bekas mendapatkan *yield* 72,7% pada rasio massa *co-solvent* aseton:metanol = 1:2, rasio molar minyak:metanol = 12:1, waktu reaksi 15 menit, suhu reaksi 27°C dan putaran pengaduk 600 rpm [2]. Penelitian dengan bahan baku minyak kedelai tetapi dengan katalis yang berbeda yaitu

transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO 3% wt., mendapatkan *yield* 98% pada massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, waktu reaksi 2 jam dan suhu ruang [3]. Penelitian lain dengan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_3$  1,2% wt., mendapatkan konversi 97,98% dengan massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, suhu reaksi 55°C dan waktu reaksi 25 menit [4]. Penelitian menggunakan minyak kedelai dan katalis CaO tetapi dengan *co-solvent* berbeda yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan massa katalis CaO 30 mg, mendapatkan konsentrasi FAME 99% pada massa *co-solvent* iso-propanol 14,5%, rasio molar minyak:metanol = 20:1, waktu reaksi 6,5 menit dan suhu reaksi 65°C [5]. Penelitian lain dengan *raw material* minyak kedelai dan katalis basa dengan *co-solvent* solar yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 92% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 50°C, rasio mol minyak:metanol = 1:3 dan massa *co-solvent diesel oil* 30% [6]. Pada penelitian dengan bahan baku yang berbeda yaitu transesterifikasi *rapeseed oil* dengan *co-solvent* dietil eter mendapatkan *yield* 97,6% pada rasio molar DEE:metanol = 1:1, rasio molar minyak:metanol = 1:9, waktu reaksi 2 jam, suhu reaksi 30°C, katalis KOH 0,7% wt. dan kecepatan pengadukan 700 rpm [7].

Pada proses transesterifikasi dengan *co-solvent* yang telah dilakukan, *co-solvent* yang digunakan harganya relatif mahal dan perlu proses pemisahan di akhir reaksi sehingga menambah panjang tahapan proses pembuatan biodiesel [8]. Alternatif *co-solvent* yang harganya murah dan tanpa proses pemisahan di akhir reaksi adalah metil ester yang merupakan produk reaksi transesterifikasi. Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* metil ester telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak biji kapas dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 99,2% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 40°C, rasio mol minyak:metanol = 1:4,5 dan massa *co-solvent* metil oleat 34% [9]. Kemudian pada transesterifikasi dengan bahan baku berbeda yaitu transesterifikasi *canola oil* dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan *yield* 97% pada waktu reaksi 1 jam, suhu reaksi 30°C, rasio mol minyak:metanol = 1:6 dan massa *co-solvent* FAME 20% [10].

Proses transesterifikasi dengan katalis NaOH dan *co-solvent* metil ester yang telah dilakukan belum mendapatkan *yield* yang memuaskan ditinjau dari massa katalis, waktu reaksi dan massa penambahan *co-solvent* FAME. Pada transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11]. Selain itu juga tidak dilakukan analisa total sifat fisik metil ester yang dihasilkan apakah sudah memenuhi standar biodiesel atau belum serta tidak dilakukan uji *performance* biodiesel yang dihasilkan pada motor bakar. Tujuan penelitian adalah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH dan *co-solvent* FAME serta aplikasinya pada motor bakar.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak kelapa sawit merk Sunco, HCl cair p.a (Sigma Aldrich, 37%), etanol cair p.a (Sigma Aldrich, 96%), indikator PP, KOH pellet p.a (Riedel-de Haen, 99%), metanol cair p.a (MERCK, 99,9%), aseton dan NaOH pellet p.a. (Riedel-de Haen, 99%).

### 2.2 Persiapan Bahan Baku.

Minyak kelapa sawit dilakukan analisa FFA dan kadar air. Jika % FFA  $\geq 0,5\%$  maka dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam, tetapi jika FFA  $< 0,5\%$  bisa langsung dilakukan reaksi transesterifikasi. Jika kadar air  $> 1\%$  maka dilakukan pemanasan pada suhu 110°C sampai kadar air  $\leq 1\%$ .

### 2.3 Pembuatan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Setelah minyak kelapa sawit mencapai suhu 60°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 60°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam dan suhu reaksi 60°C. Penentuan variabel tersebut didasari dari kondisi optimum yang didapatkan pada penelitian transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan konsentrasi FAME optimum 88% [12]. Hasil reaksi kemudian ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk menetralkan katalis dan dimasukkan corong pemisah selama 12 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan FAME kemudian dianalisa konsentrasi metil esternya dengan GC (*Gas Chromatography*).

## 2.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan *Co-solvent* FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1,2% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dan *co-solvent* FAME (0, 5, 10, 15% wt. minyak) dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Setelah minyak kelapa sawit dan *co-solvent* mencapai suhu 70°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 70°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi (5, 10, 15, 20, 25, 30 menit) dan suhu reaksi 70°C. Setelah reaksi selesai sesuai variabel waktu penelitian, diambil sampel sebanyak 50 gram dan ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk netralisasi katalis NaOH agar reaksi berhenti. Sample kemudian dimasukkan dalam corong pemisah dan didiamkan selama ±12 jam agar terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan metil ester, minyak sisa reaksi dan *impurities* lain yang terikut, kemudian didestilasi pada suhu ± 110°C untuk memisahkan impuritis yang masih terikut. Residu hasil destilasi kemudian disaring sehingga didapatkan metil ester yang berwarna jernih dan ditimbang sebagai massa produk. Metil ester kemudian dianalisa konsentrasi FAME menggunakan GC. Lapisan bawah merupakan campuran gliserol, sisa metanol dan hasil reaksi netralisasi katalis. Menghitung yield FAME dengan Persamaan (1).

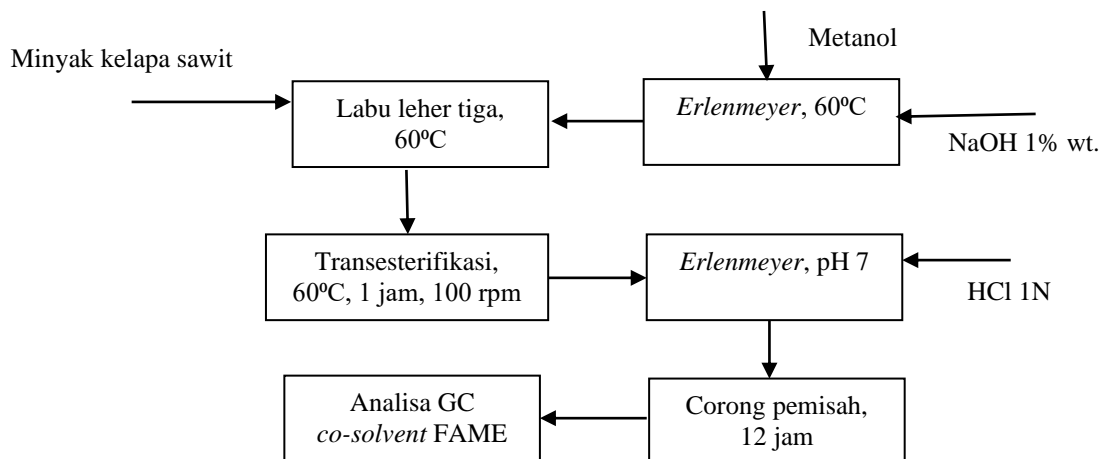
$$Yield = \left[ \frac{(M1 - M2) \times C1}{M3} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Dimana M1 = massa produk, M2 = massa *co-solvent*, C1 = konsentrasi FAME dan M3 = massa minyak kelapa sawit awal.

## 2.5 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

Setelah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME, maka tahap berikutnya adalah membuat biodiesel skala semi *pilot plant* menggunakan alat pada Gambar 1. Biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan analisa kualitas biodiesel sesuai dengan SNI 7182:2012 dan uji *performance* biodiesel pada motor bakar.

## 2.6 Diagram Alir Penelitian

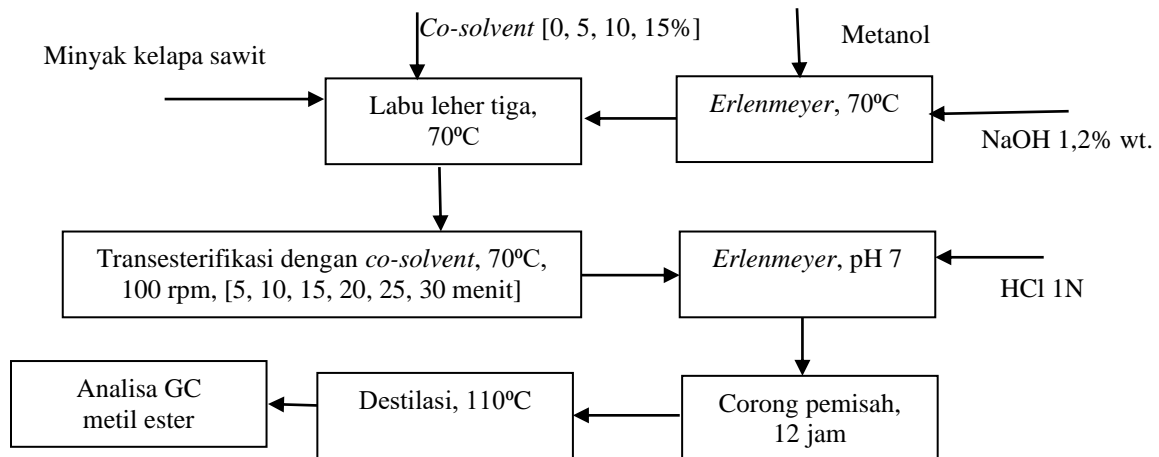


**Gambar 1:** Diagram alir pembuatan *co-solvent* FAME.

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian untuk proses pembuatan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Untuk pembuatan *co-solvent* menggunakan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dengan katalis NaOH untuk menghasilkan metil ester dan gliserol. Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl untuk netralisasi katalis sehingga reaksi akan berhenti. Reaksi netralisasi:  $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ . Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah metil ester dan minyak yang tidak bereaksi, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil sebagai produk dan dilakukan analisa GC



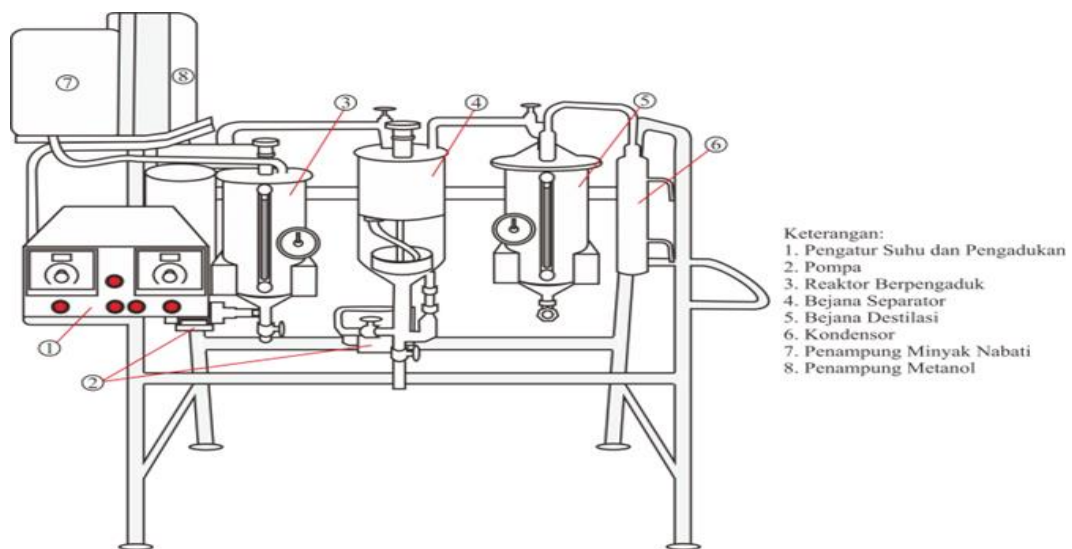
untuk mengetahui konsentrasi metil ester yang akan digunakan sebagai *co-solvent*.



**Gambar 2:** Diagram alir proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME.

Gambar 2 merupakan diagram alir penelitian untuk proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl 1 N untuk menghentikan reaksi karena reaksi bersifat reversibel. Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah *co-solvent*, metil ester, minyak yang tidak bereaksi dan pengotor, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil dan dilakukan destilasi untuk memisahkan pengotor. Residu hasil destilasi adalah produk biodiesel yang selanjutnya dilakukan analisa GC untuk mengetahui konsentrasi metil ester.

## 2.7 Deskripsi alat.



**Gambar 3:** Alat produksi biodiesel skala semi *pilot plant*.

Mekanisme pembuatan biodiesel menggunakan alat pada Gambar 3 diawali dengan menimbang minyak 1,5 kg, katalis NaOH 1,2% wt. minyak (18 gr) dan rasio molar minyak:metanol = 1:6 (massa metanol = 291,2033 gr). Minyak kelapa sawit setelah ditimbang dimasukkan ke dalam penampung minyak nabati (7), begitu juga metanol dimasukkan ke dalam penampung metanol (8). Minyak kelapa sawit, metanol, katalis NaOH dan *co-solvent* FAME sesuai kondisi optimum proses dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk (3), diaduk dan dipanaskan pada suhu reaksi 70°C menggunakan pengatur suhu dan pengadukan (1), dengan waktu reaksi sesuai kondisi optimum proses. Setelah reaksi selesai, hasil reaksi kemudian dialirkan dengan pompa (2)

menuju bejana separator (4) untuk proses pemisahan. Pada bejana separator (4) ditambahkan air panas yang volumenya sama dengan volume hasil reaksi untuk melarutkan gliserol, katalis NaOH dan metanol yang tidak bereaksi. Di dalam bejana separator (4) dilakukan pengadukan dan mendekantasi hasil pencucian dengan air panas selama sekitar 1 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan bawah adalah hasil proses pencucian yaitu air, gliserol, katalis NaOH dan metanol sisa reaksi yang kemudian dialirkan dengan pompa (4) menuju bejana destilasi (5) yang dilengkapi dengan kondensor (6) yang dioperasikan pada suhu 70°C untuk menguapkan metanol ( $t_d$  metanol = 64,7°C). Produk bejana destilasi (5) ada 2 yaitu destilat adalah metanol yang kemudian ditampung dalam Erlenmeyer dan residu adalah air, gliserol dan katalis NaOH yang juga ditampung dalam wadah. Lapisan atas adalah produk biodiesel yang ditampung dalam wadah dan kemudian dilakukan analisa sesuai SNI 7182:2012 dan uji *performance* pada motor bakar.

## 2.8 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar

Uji *performance* biodiesel pada motor bakar meliputi uji torsi (N.m), waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar (detik), konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW) dan uji kepekatan (%).

## 3 HASIL DAN DISKUSI

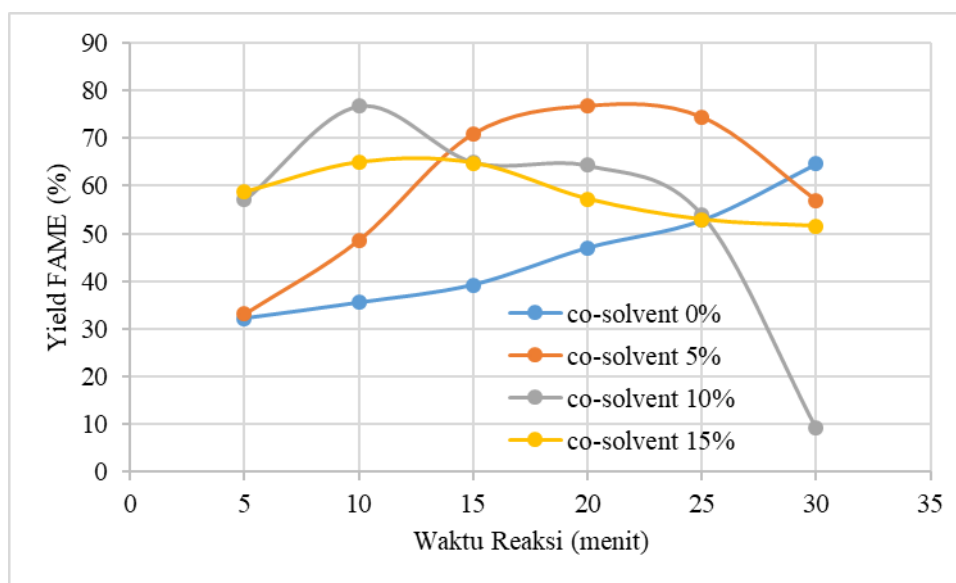
### 3.1 Persiapan bahan baku

Hasil analisa bahan baku minyak kelapa sawit didapatkan % FFA 0,12% dan kadar air 0,05%, sehingga minyak kelapa sawit bisa langsung digunakan untuk proses transesterifikasi.

### 3.2 Pembuatan *co-solvent* FAME

Dari hasil analisa GC didapatkan *co-solvent* FAME dengan konsentrasi 98%.

### 3.3 Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME



**Gambar 4:** Hubungan waktu reaksi dan yield FAME dengan variasi massa *co-solvent*.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa *yield* FAME optimum yang didapatkan berbeda-beda sesuai dengan variasi penambahan *co-solvent* FAME yang dilakukan. Pada penambahan *co-solvent* FAME 5%, *yield* FAME optimum yaitu 76,79717% didapatkan pada waktu reaksi 20 menit. Pada penambahan *co-solvent* FAME 10%, *yield* FAME optimum yaitu 76,7783% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit dan pada penambahan *co-solvent* FAME 15%, *yield* FAME optimum yaitu 64,9380% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit. Semakin banyak *co-solvent* FAME yang ditambahkan, semakin cepat reaksi mencapai kesetimbangan. Hal ini terjadi karena *co-solvent* FAME yang ditambahkan adalah produk dari reaksi itu sendiri sehingga jika reaksi kesetimbangan telah tercapai maka reaksi akan dengan cepat bergeser ke arah reaktan. Dengan bergesernya reaksi ke arah reaktan menyebabkan *yield* FAME yang didapatkan menurun, karena FAME yang sudah terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak kembali (reaksi transesterifikasi bersifat *reversible*)

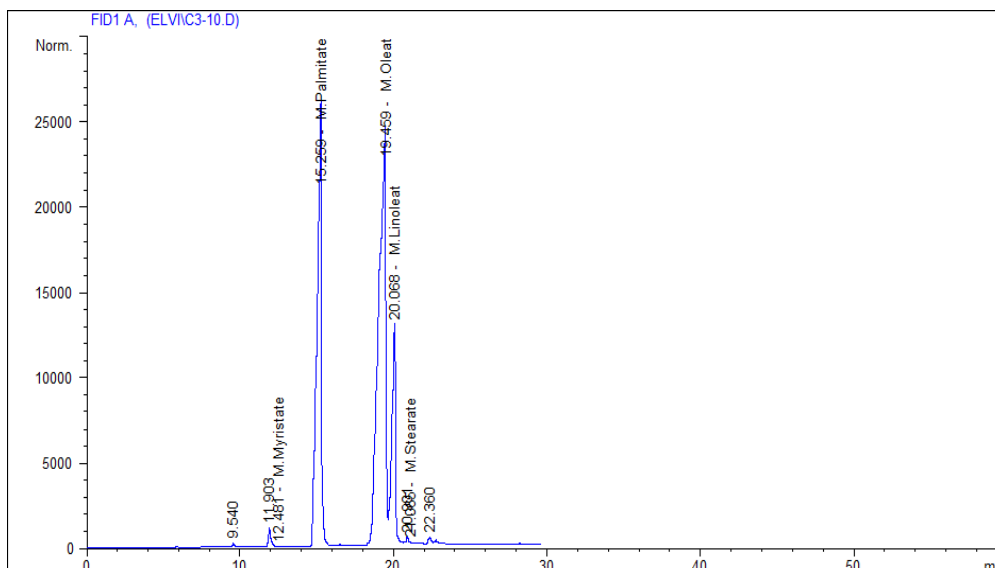
[13]. Gabungan antara penambahan *co-solvent* FAME dan massa katalis NaOH 1,2% wt. mempercepat reaksi transesterifikasi mencapai kesetimbangan. Pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit tanpa *co-solvent*, *yield* FAME tertinggi yaitu 64,6471% didapatkan pada waktu reaksi 30 menit, dimana pada variabel tersebut belum didapatkan kondisi optimum.

Kondisi optimum penelitian mendapatkan *yield* FAME 76,7783% pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., suhu reaksi 70°C, waktu reaksi 10 menit dengan penambahan *co-solvent* FAME 10%. Hasil yang didapatkan lebih baik dibandingkan dengan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11].

**Tabel 1:** Data *yield* pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. dan *co-solvent* FAME.

CO-SOLVENT FAME (%)	WAKTU REAKSI (MENIT)	YIELD FAME (%)
0	5	32,2022
	10	35,5189
	15	39,2700
	20	47,0310
	25	52,8098
	30	64,6471
5	5	33,1022
	10	48,6217
	15	70,9153
	20	76,7971
	25	74,4373
	30	57,0107
10	5	57,0279
	10	76,7783
	15	65,0307
	20	64,3318
	25	54,0301
	30	9,2391
15	5	58,6836
	10	64,9379
	15	64,7943
	20	57,2556
	25	52,9725
	30	51,5851

Tabel 1 menunjukkan data *yield* FAME yang didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., menggunakan variasi massa *co-solvent* FAME dan waktu reaksi. Terlihat pada Tabel 1 bahwa semakin lama waktu reaksi maka *yield* FAME yang didapatkan semakin besar, tetapi setelah mencapai waktu reaksi optimum *yield* FAME akan turun.



**Gambar 5:** Kromatogram GC untuk transesterifikasi dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

Gambar 5 menunjukkan kromatogram hasil analisa GC untuk FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses.

**Tabel 2:** Komposisi FAME dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

FAME	KOMPOSISI (%)
Metil miristat	0,0316
Metil palmitat	6,5141
Metil oleat	92,7553
Metil linoleat	0,6596
Metil stearat	0,0394

Tabel 2 menunjukkan komposisi FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses. Komposisi FAME yang terbentuk identik dengan asam lemak penyusun trigliserida minyak kelapa sawit yaitu metil palmitat, metil oleat, metil linoleat dan metil stearat [14].

### 3.4 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

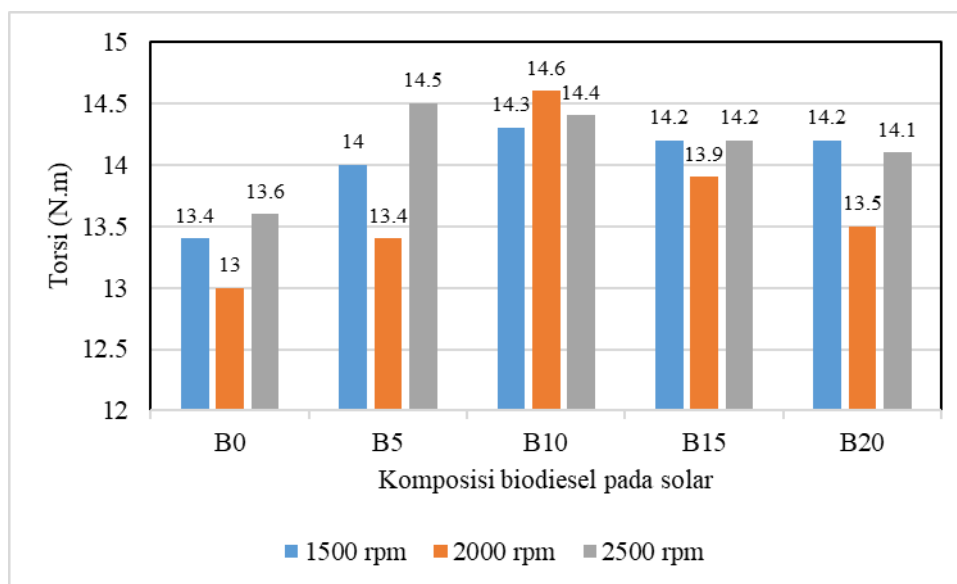
**Tabel 3:** Hasil analisa produk biodiesel pada kondisi proses optimum sesuai SNI 7182:2012.

PARAMETER	UNIT	HASIL	STANDARD	
			MINIMUM	MAXIMUM
Densitas pada 40°C	kg/L	0,8749	850 – 890	
Viskositas kinematik pada 40°C	cSt	4,56	2,3 – 6,0	
<i>Cetane index</i>	-	71,68	51	-
<i>Flash point</i>	°C	150	100	-
<i>Cloud point</i>	°C	13	-	18
<i>Copperstrip corrosion</i> (3 jam/50°C)	Merit	1a	Nomor 1	
<i>Conradson carbon residue</i>	%	0,02	-	0,05

Water content	%	0,08	-	0,05
Sedimen content	%	< 0,01	-	0,05
Temperatur distilasi 90% vol.	°C	370	-	360
Sulfated ash	%	0,01	-	0,02
Sulfur (S)	%	0,20	-	100
Phospor (P)	ppm	< 10	-	10
Angka asam	%	0,05	-	0,6
Gliserol bebas	%	0,02	-	0,02
Gliserol total	%	0,12	-	0,24
Konsentrasi metil ester	%	97,95	96,5	-
Angka iodine	%	63,85	-	115
Stabilitas oksidasi (metode Rancimat)	jam	0,12	300 menit	

Pada Tabel 3 terlihat bahwa produk biodiesel yang dihasilkan memenuhi hampir semua standard biodiesel SNI 7182:2012 kecuali pada water content, temperature distilasi 90% vol. dan stabilitas oksidasi (metode Rancimat). Tidak terpenuhinya syarat *water content* disebabkan masih ada air sisa pencucian pada biodiesel karena proses pemisahan yang kurang sempurna. Tidak terpenuhinya syarat temperature distilasi 90% vol. disebabkan masih ada komponen lain dengan titik didih tinggi seperti minyak yang tidak bereaksi yang terikut pada produk biodiesel. Tidak terpenuhinya syarat stabilitas oksidasi (metode Rancimat) disebabkan karena alat penyimpanan yang tidak sesuai dan waktu penyimpanan sebelum dilakukan analisa yang terlalu lama, sehingga selama rentang waktu tersebut terjadi reaksi oksidasi pada produk biodiesel.

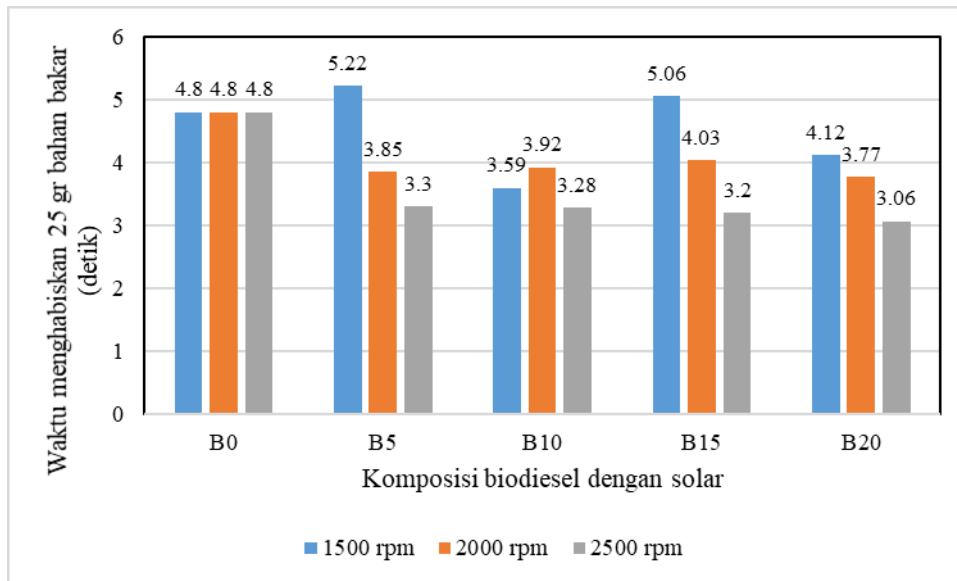
### 3.5 Uji performance biodiesel pada motor bakar



Gambar 6: Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan torsi dengan variasi kecepatan putaran.

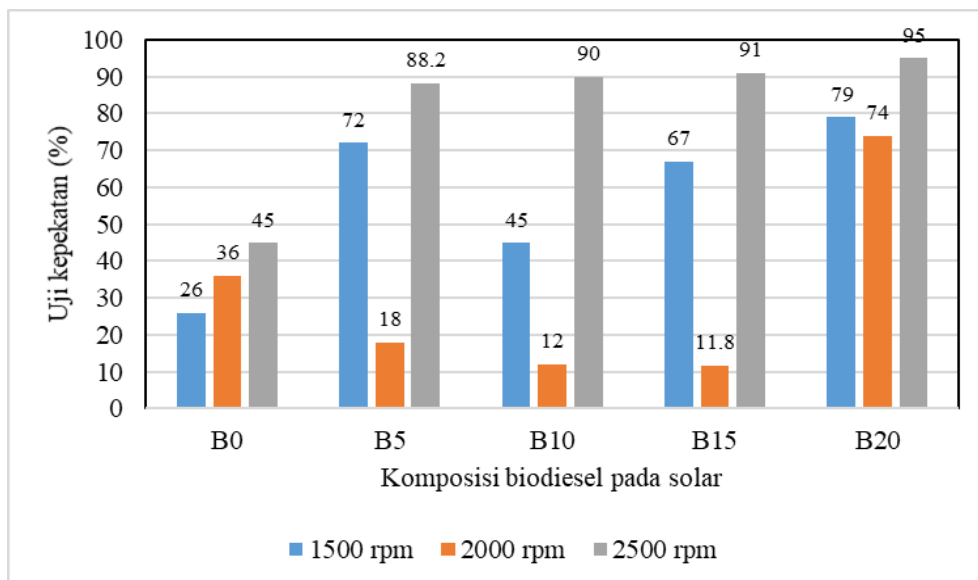
Pada Gambar 6 secara umum bisa dilihat bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan pada solar maka torsi juga akan semakin naik, tetapi ada kondisi optimum dimana torsi justru turun. Begitu juga semakin tinggi kecepatan putaran mesin maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Kondisi optimum didapatkan pada B10 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm yaitu mendapatkan torsi 14,6 N.m. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai torsi 320 kg.m pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm. Penggunaan etanol murni mendapatkan nilai torsi 0,57 kg.m pada pengujian pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar

etanol 28° [16].



**Gambar 7:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa B5 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm merupakan kondisi optimum yaitu waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar paling lama 5,22 detik. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar dan semakin cepat waktu menghabiskan bahan bakar. Jika penambahan biodiesel pada solar semakin tinggi maka waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar semakin cepat. Hal ini disebabkan karena nilai kalor biodiesel kecil sehingga konsumsi bahan bakar besar. Martin, *et al.* [15] mendapatkan laju aliran bahan bakar 172 kg/jam pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.



**Gambar 8:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan uji kepekatan dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa B15 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm merupakan kondisi optimum yaitu nilai uji kepekatan terkecil 11,8%. Semakin kecil nilai uji kepekatan maka semakin baik karena semakin kecil kepekatan gas buang yang dihasilkan. Kepekatan asap dipengaruhi oleh banyaknya O<sub>2</sub> dalam bahan bakar. Biodiesel merupakan bioenergi yang bebas belerang dan mengandung 10-12% O<sub>2</sub> yang dapat mengurangi polusi dan kepekatan gas buang, sehingga semakin banyak biodiesel yang ditambahkan akan semakin baik tetapi tentunya ada batas optimum yang dicapai. Wahyudi, *et al.* [17] mendapatkan nilai opasitas 49,43% untuk pengujian B20 minyak kelapa sawit pada mesin diesel.

Untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik, semua variable penelitian mendapatkan nilai yang sama yaitu 25 gr/kWh. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik 0,232 kg/kWh pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.

#### 4 KESIMPULAN

Kondisi optimum didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. pada waktu reaksi 10 menit menggunakan *co-solvent* FAME 10% dengan *yield* FAME 76,7783%. Dari hasil analisa standard biodiesel SNI 7182:2012, produk biodiesel pada kondisi proses optimum memenuhi hampir semua persyaratan sehingga layak diujicobakan pada motor bakar. Dari uji *performance* biodiesel pada motor bakar, B10 mendapatkan nilai yang cukup memuaskan. Untuk kecepatan putaran mesin 2000 rpm, B10 mendapatkan torsi 14,6 N.m dan untuk uji kepekatan mendapatkan nilai 12%.

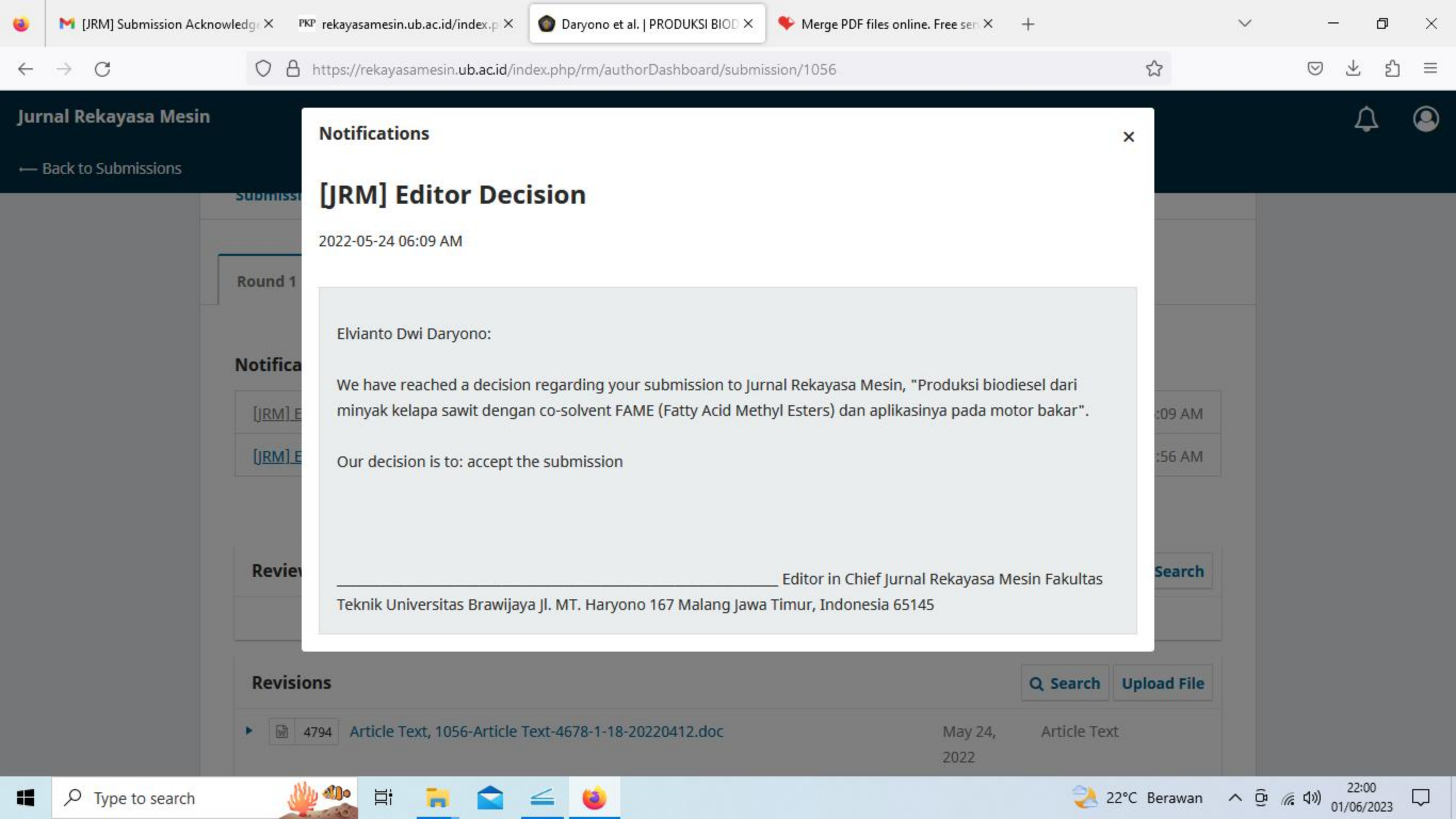
#### 5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] RAHIMI, M., MOHAMMADI, F., BASIRI, M., *et al.*, “Transesterification of soybean oil in four-way micromixers for biodiesel production using a cosolvent”, *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, v. 64, pp. 203–210, Apr. 2016.
- [2] JULIANTO, T.S., NURLESTARI, R., “The effect of acetone amount ratio as co-solvent to methanol in transesterification reaction of waste cooking oil”, *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*, v. 349, n. 012063, pp. 1 – 4, 2018.
- [3] LASKAR, I.B., DESHMUKHYA, T., BHANJA, P., *et al.*, “Transesterification of soybean oil at room temperature using biowaste as catalyst; an experimental investigation on the effect of co-solvent on biodiesel yield”, *Renewable Energy*, v. 162, pp. 98–111, 2020.
- [4] SINGH, V., YADAV, M., SHARMA, Y.C., “Effect of co-solvent on biodiesel production using calcium aluminium oxide as a reusable catalyst and waste vegetable oil”, *Fuel*, v. 203, pp. 360–369, Apr. 2017.
- [5] CHUELUECHA, N., KAEWCHADA, A., JAREE, A., “Enhancement of biodiesel synthesis using co-solvent in a packed-microchannel”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 51, pp. 162–171, 2017.
- [6] PARIDA, S., SAHU, D.K., MISRA, P.K., “Optimization of transesterification process by the application of ultrasound energy coupled with diesel as cosolvent”, *Journal of the Energy Institute*, v. 90, n. 4, pp. 556–562, 2016.
- [7] ENCINAR, J.M., PARDAL, A., SANCHEZ, N., “An improvement to the transesterification process by the use of co-solvents to produce biodiesel”, *Fuel*, v. 66, pp. 51–58, 2016.
- [8] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Transesterification of palm oil with NaOH catalyst using co-solvent methyl ester”, *International Journal of ChemTech Research*, v. 9, n. 12, pp. 570–575, 2016.
- [9] LE, H.N.T., IMAMURA, K., WATANABE, N., *et al.*, “Biodiesel production from rubber seed oil by transesterification using a co-solvent of fatty acid methyl esters”, *Chemical Engineering & Technology*, v. 41, n. 5, pp. 1013–1018, 2018.
- [10] UYEN, N.H.P., THAO, P.T.P., ASADA, R., *et al.*, “A new method for production of green biodiesel fuel using FAME as a co-solvent”, *Eco-Engineering*, v. 32, n. 3, pp. 61–67, 2020.
- [11] DARYONO, E.D., MUSTIADI, L., “Pengaruh penambahan *co-solvent* metil ester dan waktu reaksi pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*)”, *Jurnal Teknik Kimia USU*, v. 11, n. 1, pp. 16-20, 2022.
- [12] JIMMY, “Kinetika reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit”, *Jurnal Teknik Kimia*, v. 7, n. 1, pp. 12-16, 2012.
- [13] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Rapid in situ transesterification of papaya seeds to biodiesel with the aid of co-solvent”, *International Journal of Renewable Energy Research*, v. 7, n. 1, pp. 379-385, 2017.
- [14] MARLINA, E., BASJIR, M., ICHIYANAGI, M., *et al.*, “Role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel”, *Automotive Experiences*, v. 3, n. 1, pp. 33–38, 2020.
- [15] MARTIN, M., ANWAR, S., ZEIN, N., “Analisa perbandingan bahan bakar solar dengan biodiesel B-20 minyak kelapa sawit terhadap performance engine Komatsu Saa12V140E-3”, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, v. 02, n. 02, pp. 48–56, Okt. 2020.
- [16] RAZI, M., SISWANTO, E., WIJAYANTI, W., “Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor

bakar 6 langkah berbahan bakar etanol”, *Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 3, pp. 299–308, 2019.

[17] WAHYUDI, D.A., RANTO, BASORI, “Analisis perbandingan biodiesel minyak sawit, minyak biji kepuh dan minyak jelantah terhadap emisi gas buang dan opasitas pada mesin diesel”, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan*, v. 11, n. 01, pp. 22–26, 2018.





Notifications

[JRM] Editor Decision

2022-05-24 06:09 AM

Elvianto Dwi Daryono:

We have reached a decision regarding your submission to Jurnal Rekayasa Mesin, "Produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME (Fatty Acid Methyl Esters) dan aplikasinya pada motor bakar".

Our decision is to: accept the submission

\_\_\_\_\_  
Editor in Chief Jurnal Rekayasa Mesin Fakultas  
Teknik Universitas Brawijaya Jl. MT. Haryono 167 Malang Jawa Timur, Indonesia 65145

Submissi

Round 1

Notifica

[JRM] E

[JRM] E

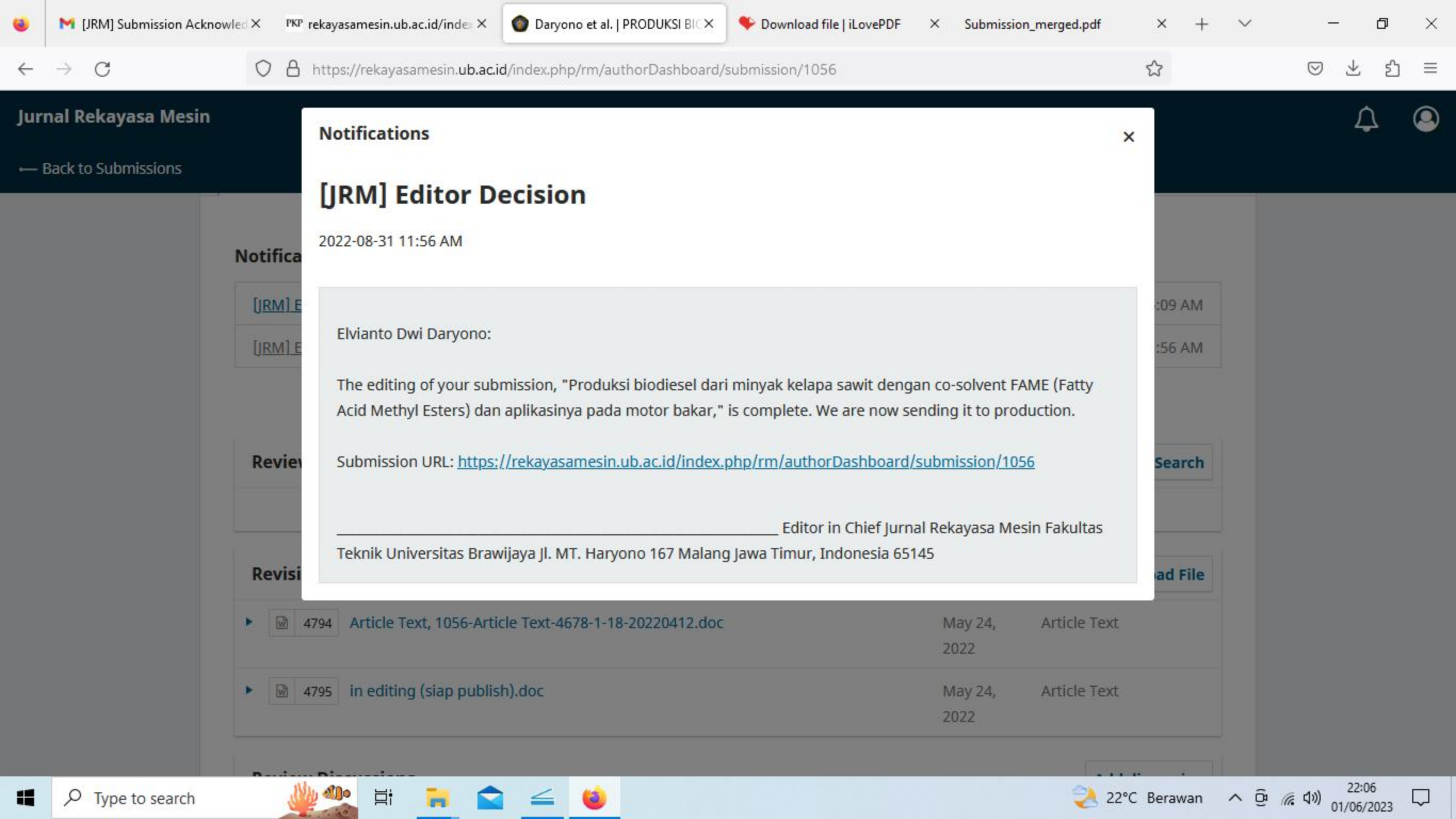
Review

Revisions

4794 Article Text, 1056-Article Text-4678-1-18-20220412.doc

May 24, 2022 Article Text

Search Upload File



## Notifications



### [JRM] Editor Decision

2022-08-31 11:56 AM

Elvianto Dwi Daryono:

The editing of your submission, "Produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan co-solvent FAME (Fatty Acid Methyl Esters) dan aplikasinya pada motor bakar," is complete. We are now sending it to production.

Submission URL: <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/authorDashboard/submission/1056>

\_\_\_\_\_  
Editor in Chief Jurnal Rekayasa Mesin Fakultas  
Teknik Universitas Brawijaya Jl. MT. Haryono 167 Malang Jawa Timur, Indonesia 65145

Notifica

[JRM] E

[JRM] E

Review

Revisi

▶		4794	Article Text, 1056-Article Text-4678-1-18-20220412.doc	May 24, 2022	Article Text
▶		4795	in editing (siap publish).doc	May 24, 2022	Article Text

:09 AM

:56 AM

Search

ad File

## PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR

### Elvianto Dwi Daryono

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Kimia  
elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

### Lalu Mustiadi

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
lamusdi@yahoo.co.id

*The process of transesterification is slow due to the low solubility of triglycerides in methanol. The limitation of mass transfer can be overcome by adding a co-solvent. Co-solvent FAME is the right choice because it is the product of the reaction itself so that it does not require a separation process. The purpose of this study was to examine the use of FAME as a co-solvent in the transesterification of palm oil and its application to the combustion engine. The operating conditions were palm oil mass of 250 gr, NaOH catalyst 1.2% wt, stirring speed 100 rpm, reaction temperature 70°C, ratio molar of oil:methanol = 1:6, reaction time (5,10,15,20,25,30 minutes), and co-solvent (0,5,10,15% wt). After the optimum conditions are obtained, the next step is to make biodiesel on a semi pilot plant scale. Oil, methanol, NaOH and co-solvent were put into a stirred reactor and heated at a reaction temperature of 70°C. After the reaction is complete then it is flowed into the separator for separation by adding hot water to form 2 layers. The top layer is biodiesel which was analyzed and performance test on the combustion engine. The optimum condition of the process is a reaction time of 10 minutes and the addition of 10% co-solvent, with a yield of 76.7783%. The results of the analysis of SNI 7182:2012 states that biodiesel meets almost all requirements. From the biodiesel performance test on the combustion engine, B10 got quite satisfactory results for the torque and opacity test parameters.*

**Keywords:** transesterification, co-solvent, FAME, palm oil, combustion engine.

## 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan biodiesel yang sering dilakukan adalah proses transesterifikasi karena dapat menghasilkan *yield* yang relatif tinggi. Proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dari minyak dengan alkohol dimana yang sering dipakai adalah metanol menggunakan katalis basa membentuk metil ester atau biodiesel dan gliserol. Kendala pada proses transesterifikasi adalah kelarutan reaktan yaitu trigliserida dan metanol yang terbatas. Proses transesterifikasi dengan katalis basa memiliki laju reaksi yang lambat dan sering berhenti sebelum tercapai konversi sempurna. Trigliserida bersifat non polar sedangkan metanol bersifat polar sehingga sulit bercampur. Salah satu cara untuk mengatasi terbatasnya kelarutan reaktan pada proses transesterifikasi adalah dengan penambahan *co-solvent*.

Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak kedelai pada suhu reaksi 60°C, rasio volume *co-solvent* n-heksana:metanol = 0,4, waktu reaksi 9 detik, rasio volume minyak:metanol = 2 dan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 98,81% [1]. Penelitian selanjutnya menggunakan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak goreng bekas mendapatkan *yield* 72,7% pada rasio massa *co-solvent* aseton:metanol = 1:2, rasio molar minyak:metanol = 12:1, waktu reaksi 15 menit, suhu reaksi 27°C dan putaran pengaduk 600 rpm [2]. Penelitian dengan bahan baku minyak kedelai tetapi dengan katalis yang berbeda yaitu

transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO 3% wt., mendapatkan *yield* 98% pada massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, waktu reaksi 2 jam dan suhu ruang [3]. Penelitian lain dengan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_3$  1,2% wt., mendapatkan konversi 97,98% dengan massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, suhu reaksi 55°C dan waktu reaksi 25 menit [4]. Penelitian menggunakan minyak kedelai dan katalis CaO tetapi dengan *co-solvent* berbeda yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan massa katalis CaO 30 mg, mendapatkan konsentrasi FAME 99% pada massa *co-solvent* iso-propanol 14,5%, rasio molar minyak:metanol = 20:1, waktu reaksi 6,5 menit dan suhu reaksi 65°C [5]. Penelitian lain dengan *raw material* minyak kedelai dan katalis basa dengan *co-solvent* solar yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 92% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 50°C, rasio mol minyak:metanol = 1:3 dan massa *co-solvent diesel oil* 30% [6]. Pada penelitian dengan bahan baku yang berbeda yaitu transesterifikasi *rapeseed oil* dengan *co-solvent* dietil eter mendapatkan *yield* 97,6% pada rasio molar DEE:metanol = 1:1, rasio molar minyak:metanol = 1:9, waktu reaksi 2 jam, suhu reaksi 30°C, katalis KOH 0,7% wt. dan kecepatan pengadukan 700 rpm [7].

Pada proses transesterifikasi dengan *co-solvent* yang telah dilakukan, *co-solvent* yang digunakan harganya relatif mahal dan perlu proses pemisahan di akhir reaksi sehingga menambah panjang tahapan proses pembuatan biodiesel [8]. Alternatif *co-solvent* yang harganya murah dan tanpa proses pemisahan di akhir reaksi adalah metil ester yang merupakan produk reaksi transesterifikasi. Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* metil ester telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak biji kapas dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 99,2% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 40°C, rasio mol minyak:metanol = 1:4,5 dan massa *co-solvent* metil oleat 34% [9]. Kemudian pada transesterifikasi dengan bahan baku berbeda yaitu transesterifikasi *canola oil* dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan *yield* 97% pada waktu reaksi 1 jam, suhu reaksi 30°C, rasio mol minyak:metanol = 1:6 dan massa *co-solvent* FAME 20% [10].

Proses transesterifikasi dengan katalis NaOH dan *co-solvent* metil ester yang telah dilakukan belum mendapatkan *yield* yang memuaskan ditinjau dari massa katalis, waktu reaksi dan massa penambahan *co-solvent* FAME. Pada transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11]. Selain itu juga tidak dilakukan analisa total sifat fisik metil ester yang dihasilkan apakah sudah memenuhi standar biodiesel atau belum serta tidak dilakukan uji *performance* biodiesel yang dihasilkan pada motor bakar. Tujuan penelitian adalah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH dan *co-solvent* FAME serta aplikasinya pada motor bakar.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak kelapa sawit merk Sunco, HCl cair p.a (Sigma Aldrich, 37%), etanol cair p.a (Sigma Aldrich, 96%), indikator PP, KOH pellet p.a (Riedel-de Haen, 99%), metanol cair p.a (MERCK, 99,9%), aseton dan NaOH pellet p.a. (Riedel-de Haen, 99%).

### 2.2 Persiapan Bahan Baku.

Minyak kelapa sawit dilakukan analisa FFA dan kadar air. Jika % FFA  $\geq 0,5\%$  maka dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam, tetapi jika FFA  $< 0,5\%$  bisa langsung dilakukan reaksi transesterifikasi. Jika kadar air  $> 1\%$  maka dilakukan pemanasan pada suhu 110°C sampai kadar air  $\leq 1\%$ .

### 2.3 Pembuatan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Setelah minyak kelapa sawit mencapai suhu 60°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 60°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam dan suhu reaksi 60°C. Penentuan variabel tersebut didasari dari kondisi optimum yang didapatkan pada penelitian transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan konsentrasi FAME optimum 88% [12]. Hasil reaksi kemudian ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk menetralkan katalis dan dimasukkan corong pemisah selama 12 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan FAME kemudian dianalisa konsentrasi metil esternya dengan GC (*Gas Chromatography*).

## 2.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan *Co-solvent* FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1,2% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dan *co-solvent* FAME (0, 5, 10, 15% wt. minyak) dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Setelah minyak kelapa sawit dan *co-solvent* mencapai suhu 70°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 70°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi (5, 10, 15, 20, 25, 30 menit) dan suhu reaksi 70°C. Setelah reaksi selesai sesuai variabel waktu penelitian, diambil sampel sebanyak 50 gram dan ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk netralisasi katalis NaOH agar reaksi berhenti. Sample kemudian dimasukkan dalam corong pemisah dan didiamkan selama ±12 jam agar terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan metil ester, minyak sisa reaksi dan *impurities* lain yang terikut, kemudian didestilasi pada suhu ± 110°C untuk memisahkan impuritis yang masih terikut. Residu hasil destilasi kemudian disaring sehingga didapatkan metil ester yang berwarna jernih dan ditimbang sebagai massa produk. Metil ester kemudian dianalisa konsentrasi FAME menggunakan GC. Lapisan bawah merupakan campuran gliserol, sisa metanol dan hasil reaksi netralisasi katalis. Menghitung yield FAME dengan Persamaan (1).

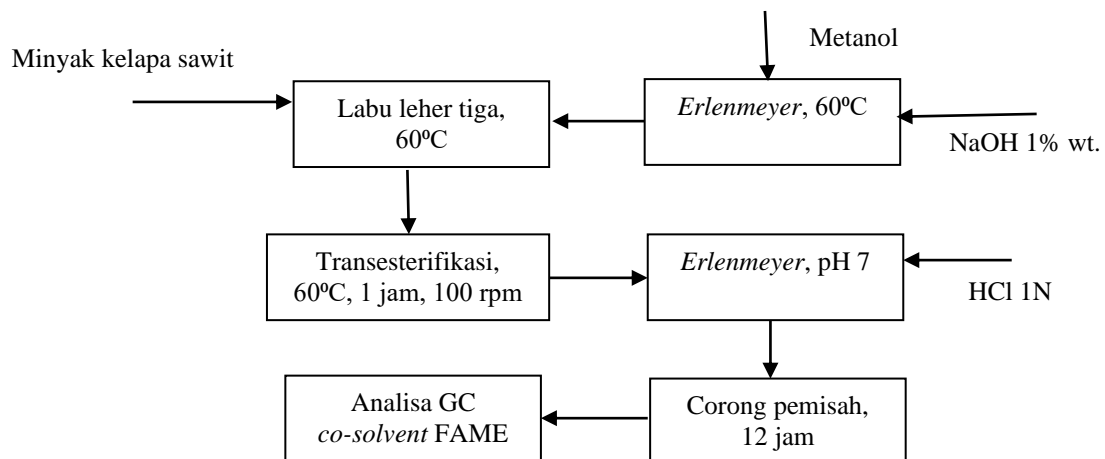
$$Yield = \left[ \frac{(M1 - M2) \times C1}{M3} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Dimana M1 = massa produk, M2 = massa *co-solvent*, C1 = konsentrasi FAME dan M3 = massa minyak kelapa sawit awal.

## 2.5 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

Setelah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME, maka tahap berikutnya adalah membuat biodiesel skala semi *pilot plant* menggunakan alat pada Gambar 1. Biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan analisa kualitas biodiesel sesuai dengan SNI 7182:2012 dan uji *performance* biodiesel pada motor bakar.

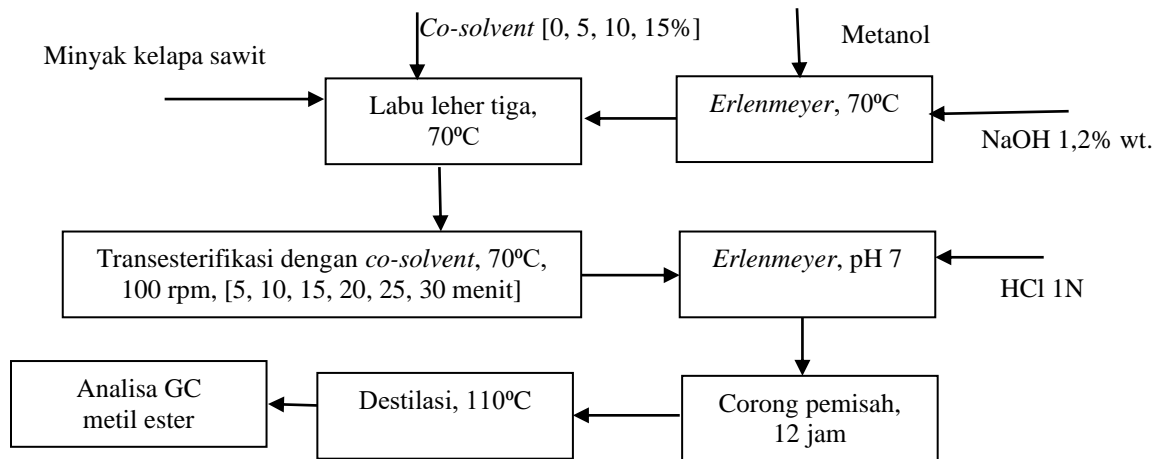
## 2.6 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1:** Diagram alir pembuatan *co-solvent* FAME.

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian untuk proses pembuatan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Untuk pembuatan *co-solvent* menggunakan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dengan katalis NaOH untuk menghasilkan metil ester dan gliserol. Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl untuk netralisasi katalis sehingga reaksi akan berhenti. Reaksi netralisasi:  $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ . Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah metil ester dan minyak yang tidak bereaksi, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil sebagai produk dan dilakukan analisa GC

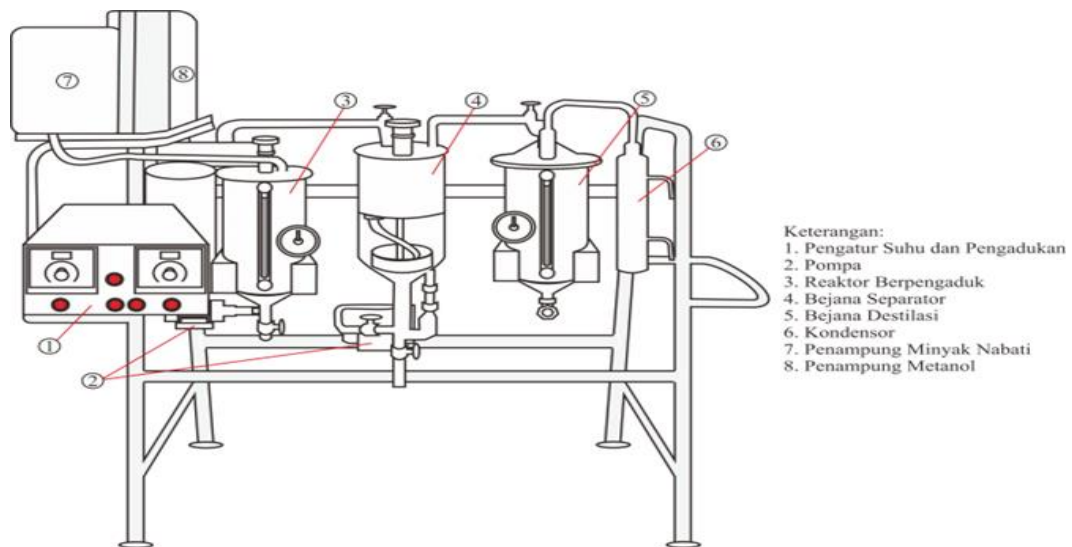
untuk mengetahui konsentrasi metil ester yang akan digunakan sebagai *co-solvent*.



**Gambar 2:** Diagram alir proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME.

Gambar 2 merupakan diagram alir penelitian untuk proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl 1 N untuk menghentikan reaksi karena reaksi bersifat reversibel. Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah *co-solvent*, metil ester, minyak yang tidak bereaksi dan pengotor, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil dan dilakukan destilasi untuk memisahkan pengotor. Residu hasil destilasi adalah produk biodiesel yang selanjutnya dilakukan analisa GC untuk mengetahui konsentrasi metil ester.

### 2.7 Deskripsi alat.



**Gambar 3:** Alat produksi biodiesel skala semi *pilot plant*.

Mekanisme pembuatan biodiesel menggunakan alat pada Gambar 3 diawali dengan menimbang minyak 1,5 kg, katalis NaOH 1,2% wt. minyak (18 gr) dan rasio molar minyak:metanol = 1:6 (massa metanol = 291,2033 gr). Minyak kelapa sawit setelah ditimbang dimasukkan ke dalam penampung minyak nabati (7), begitu juga metanol dimasukkan ke dalam penampung metanol (8). Minyak kelapa sawit, metanol, katalis NaOH dan *co-solvent* FAME sesuai kondisi optimum proses dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk (3), diaduk dan dipanaskan pada suhu reaksi 70°C menggunakan pengatur suhu dan pengadukan (1), dengan waktu reaksi sesuai kondisi optimum proses. Setelah reaksi selesai, hasil reaksi kemudian dialirkan dengan pompa (2)

menuju bejana separator (4) untuk proses pemisahan. Pada bejana separator (4) ditambahkan air panas yang volumenya sama dengan volume hasil reaksi untuk melarutkan gliserol, katalis NaOH dan metanol yang tidak bereaksi. Di dalam bejana separator (4) dilakukan pengadukan dan mendekantasi hasil pencucian dengan air panas selama sekitar 1 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan bawah adalah hasil proses pencucian yaitu air, gliserol, katalis NaOH dan metanol sisa reaksi yang kemudian dialirkan dengan pompa (4) menuju bejana destilasi (5) yang dilengkapi dengan kondensor (6) yang dioperasikan pada suhu 70°C untuk menguapkan metanol ( $t_d$  metanol = 64,7°C). Produk bejana destilasi (5) ada 2 yaitu destilat adalah metanol yang kemudian ditampung dalam Erlenmeyer dan residu adalah air, gliserol dan katalis NaOH yang juga ditampung dalam wadah. Lapisan atas adalah produk biodiesel yang ditampung dalam wadah dan kemudian dilakukan analisa sesuai SNI 7182:2012 dan uji *performance* pada motor bakar.

## 2.8 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar

Uji *performance* biodiesel pada motor bakar meliputi uji torsi (N.m), waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar (detik), konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW) dan uji kepekatan (%).

## 3 HASIL DAN DISKUSI

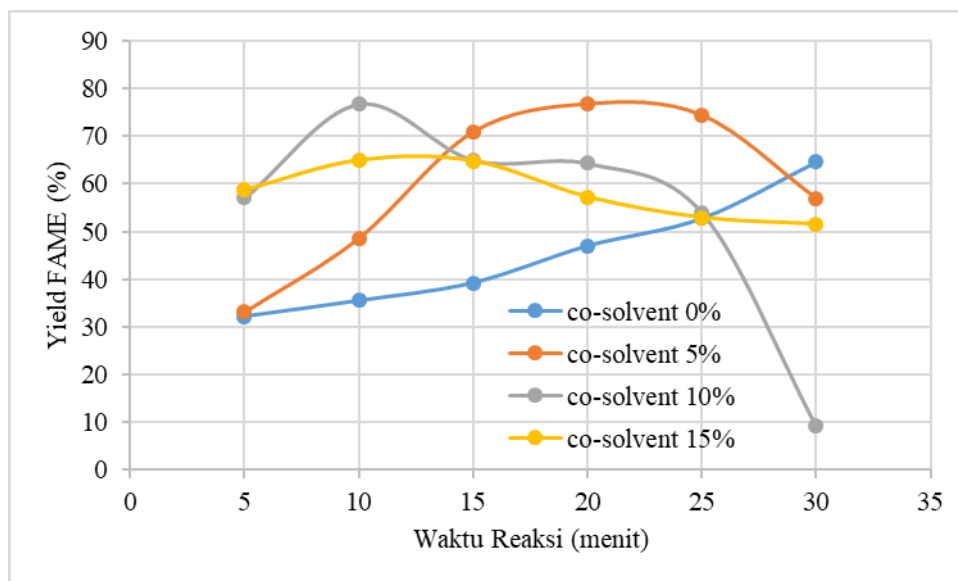
### 3.1 Persiapan bahan baku

Hasil analisa bahan baku minyak kelapa sawit didapatkan % FFA 0,12% dan kadar air 0,05%, sehingga minyak kelapa sawit bisa langsung digunakan untuk proses transesterifikasi.

### 3.2 Pembuatan *co-solvent* FAME

Dari hasil analisa GC didapatkan *co-solvent* FAME dengan konsentrasi 98%.

### 3.3 Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME



**Gambar 4:** Hubungan waktu reaksi dan yield FAME dengan variasi massa *co-solvent*.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa *yield* FAME optimum yang didapatkan berbeda-beda sesuai dengan variasi penambahan *co-solvent* FAME yang dilakukan. Pada penambahan *co-solvent* FAME 5%, *yield* FAME optimum yaitu 76,79717% didapatkan pada waktu reaksi 20 menit. Pada penambahan *co-solvent* FAME 10%, *yield* FAME optimum yaitu 76,7783% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit dan pada penambahan *co-solvent* FAME 15%, *yield* FAME optimum yaitu 64,9380% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit. Semakin banyak *co-solvent* FAME yang ditambahkan, semakin cepat reaksi mencapai kesetimbangan. Hal ini terjadi karena *co-solvent* FAME yang ditambahkan adalah produk dari reaksi itu sendiri sehingga jika reaksi kesetimbangan telah tercapai maka reaksi akan dengan cepat bergeser ke arah reaktan. Dengan bergesernya reaksi ke arah reaktan menyebabkan *yield* FAME yang didapatkan menurun, karena FAME yang sudah terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak kembali (reaksi transesterifikasi bersifat *reversible*)

[13]. Gabungan antara penambahan *co-solvent* FAME dan massa katalis NaOH 1,2% wt. mempercepat reaksi transesterifikasi mencapai kesetimbangan. Pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit tanpa *co-solvent*, *yield* FAME tertinggi yaitu 64,6471% didapatkan pada waktu reaksi 30 menit, dimana pada variabel tersebut belum didapatkan kondisi optimum.

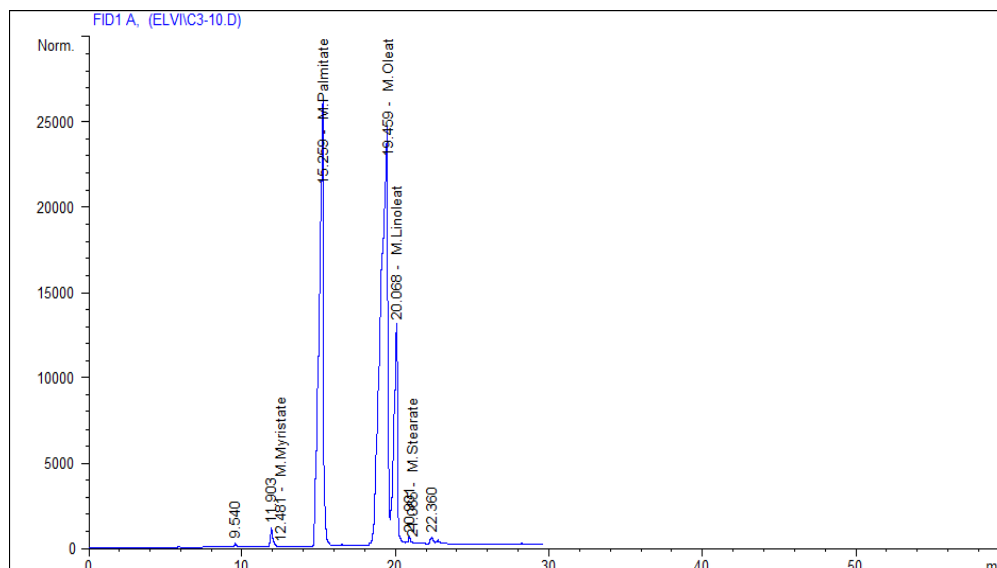
Kondisi optimum penelitian mendapatkan *yield* FAME 76,7783% pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., suhu reaksi 70°C, waktu reaksi 10 menit dengan penambahan *co-solvent* FAME 10%. Hasil yang didapatkan lebih baik dibandingkan dengan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11].

**Tabel 1:** Data *yield* pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. dan *co-solvent* FAME.

CO-SOLVENT FAME (%)	WAKTU REAKSI (MENIT)	YIELD FAME (%)
0	5	32,2022
	10	35,5189
	15	39,2700
	20	47,0310
	25	52,8098
	30	64,6471
5	5	33,1022
	10	48,6217
	15	70,9153
	20	76,7971
	25	74,4373
	30	57,0107
10	5	57,0279
	10	76,7783
	15	65,0307
	20	64,3318
	25	54,0301
	30	9,2391
15	5	58,6836
	10	64,9379
	15	64,7943
	20	57,2556
	25	52,9725
	30	51,5851

Tabel 1 menunjukkan data *yield* FAME yang didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., menggunakan variasi massa *co-solvent* FAME dan waktu reaksi. Terlihat pada Tabel 1 bahwa semakin lama waktu reaksi maka *yield* FAME yang didapatkan semakin besar, tetapi setelah mencapai waktu reaksi optimum *yield* FAME akan turun.





**Gambar 5:** Kromatogram GC untuk transesterifikasi dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

Gambar 5 menunjukkan kromatogram hasil analisa GC untuk FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses.

**Tabel 2:** Komposisi FAME dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

FAME	KOMPOSISI (%)
Metil miristat	0,0316
Metil palmitat	6,5141
Metil oleat	92,7553
Metil linoleat	0,6596
Metil stearat	0,0394

Tabel 2 menunjukkan komposisi FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses. Komposisi FAME yang terbentuk identik dengan asam lemak penyusun trigliserida minyak kelapa sawit yaitu metil palmitat, metil oleat, metil linoleat dan metil stearat [14].

### 3.4 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

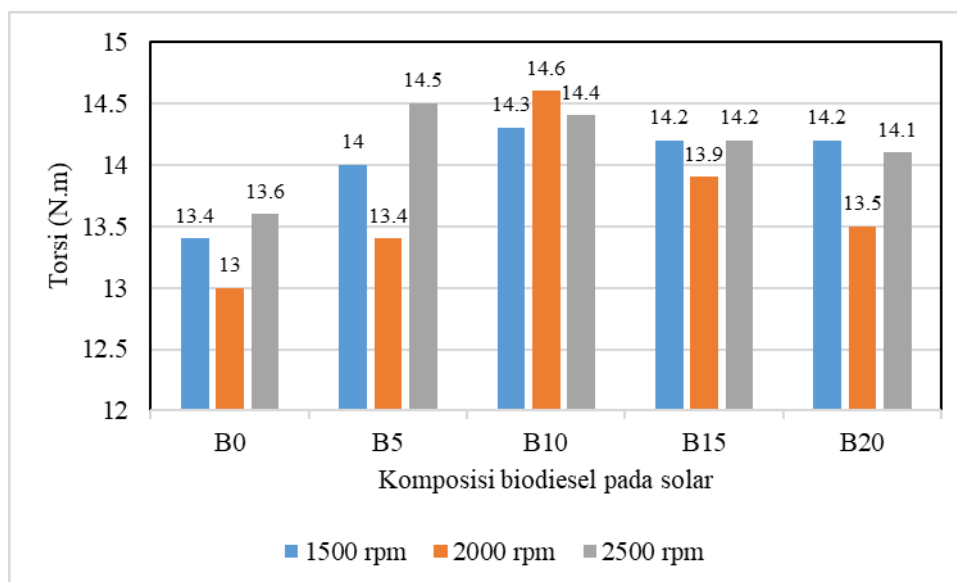
**Tabel 3:** Hasil analisa produk biodiesel pada kondisi proses optimum sesuai SNI 7182:2012.

PARAMETER	UNIT	HASIL	STANDARD	
			MINIMUM	MAXIMUM
Densitas pada 40°C	kg/L	0,8749	850 – 890	
Viskositas kinematik pada 40°C	cSt	4,56	2,3 – 6,0	
<i>Cetane index</i>	-	71,68	51	-
<i>Flash point</i>	°C	150	100	-
<i>Cloud point</i>	°C	13	-	18
<i>Copperstrip corrosion</i> (3 jam/50°C)	Merit	1a	Nomor 1	
<i>Conradson carbon residue</i>	%	0,02	-	0,05

<i>Water content</i>	%	0,08	-	0,05
<i>Sedimen content</i>	%	< 0,01	-	0,05
Temperatur distilasi 90% vol.	°C	370	-	360
<i>Sulfated ash</i>	%	0,01	-	0,02
Sulfur (S)	%	0,20	-	100
Phospor (P)	ppm	< 10	-	10
Angka asam	%	0,05	-	0,6
Gliserol bebas	%	0,02	-	0,02
Gliserol total	%	0,12	-	0,24
Konsentrasi metil ester	%	97,95	96,5	-
Angka iodine	%	63,85	-	115
Stabilitas oksidasi (metode Rancimat)	jam	0,12	300 menit	

Pada Tabel 3 terlihat bahwa produk biodiesel yang dihasilkan memenuhi hampir semua standard biodiesel SNI 7182:2012 kecuali pada *water content*, temperature distilasi 90% vol. dan stabilitas oksidasi (metode Rancimat). Tidak terpenuhinya syarat *water content* disebabkan masih ada air sisa pencucian pada biodiesel karena proses pemisahan yang kurang sempurna. Tidak terpenuhinya syarat temperature distilasi 90% vol. disebabkan masih ada komponen lain dengan titik didih tinggi seperti minyak yang tidak bereaksi yang terikut pada produk biodiesel. Tidak terpenuhinya syarat stabilitas oksidasi (metode Rancimat) disebabkan karena alat penyimpanan yang tidak sesuai dan waktu penyimpanan sebelum dilakukan analisa yang terlalu lama, sehingga selama rentang waktu tersebut terjadi reaksi oksidasi pada produk biodiesel.

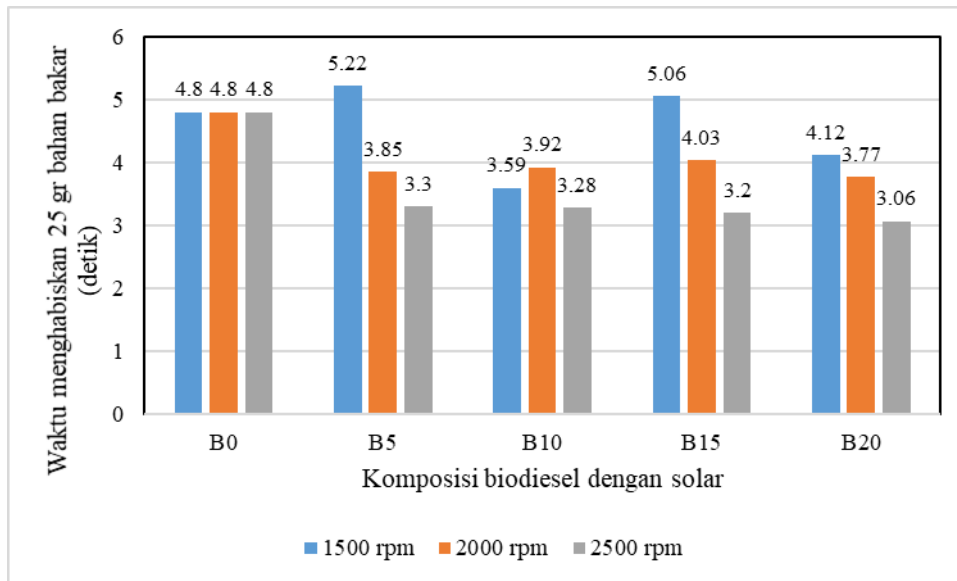
### 3.5 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar



**Gambar 6:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan torsi dengan variasi kecepatan putaran.

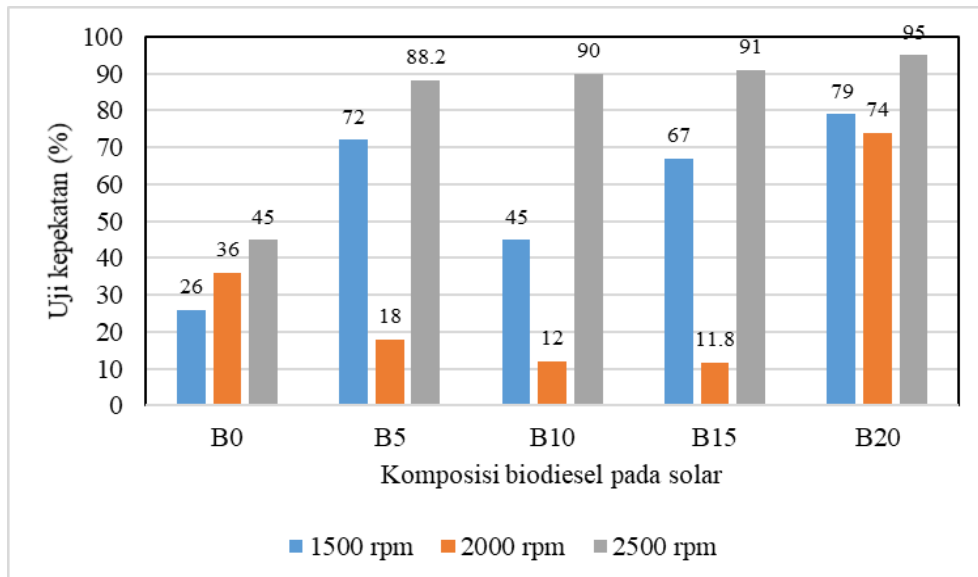
Pada Gambar 6 secara umum bisa dilihat bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan pada solar maka torsi juga akan semakin naik, tetapi ada kondisi optimum dimana torsi justru turun. Begitu juga semakin tinggi kecepatan putaran mesin maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Kondisi optimum didapatkan pada B10 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm yaitu mendapatkan torsi 14,6 N.m. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai torsi 320 kg.m pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm. Penggunaan etanol murni mendapatkan nilai torsi 0,57 kg.m pada pengujian pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar

etanol 28° [16].



**Gambar 7:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa B5 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm merupakan kondisi optimum yaitu waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar paling lama 5,22 detik. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar dan semakin cepat waktu menghabiskan bahan bakar. Jika penambahan biodiesel pada solar semakin tinggi maka waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar semakin cepat. Hal ini disebabkan karena nilai kalor biodiesel kecil sehingga konsumsi bahan bakar besar. Martin, *et al.* [15] mendapatkan laju aliran bahan bakar 172 kg/jam pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.



**Gambar 8:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan uji kepekatan dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa B15 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm merupakan kondisi optimum yaitu nilai uji kepekatan terkecil 11,8%. Semakin kecil nilai uji kepekatan maka semakin baik karena semakin kecil kepekatan gas buang yang dihasilkan. Kepekatan asap dipengaruhi oleh banyaknya O<sub>2</sub> dalam bahan bakar. Biodiesel merupakan bioenergi yang bebas belerang dan mengandung 10-12% O<sub>2</sub> yang dapat mengurangi polusi dan kepekatan gas buang, sehingga semakin banyak biodiesel yang ditambahkan akan semakin baik tetapi tentunya ada batas optimum yang dicapai. Wahyudi, *et al.* [17] mendapatkan nilai opasitas 49,43% untuk pengujian B20 minyak kelapa sawit pada mesin diesel.

Untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik, semua variable penelitian mendapatkan nilai yang sama yaitu 25 gr/kWh. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik 0,232 kg/kWh pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.

#### 4 KESIMPULAN

Kondisi optimum didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. pada waktu reaksi 10 menit menggunakan *co-solvent* FAME 10% dengan *yield* FAME 76,7783%. Dari hasil analisa standard biodiesel SNI 7182:2012, produk biodiesel pada kondisi proses optimum memenuhi hampir semua persyaratan sehingga layak diujicobakan pada motor bakar. Dari uji *performance* biodiesel pada motor bakar, B10 mendapatkan nilai yang cukup memuaskan. Untuk kecepatan putaran mesin 2000 rpm, B10 mendapatkan torsi 14,6 N.m dan untuk uji kepekatan mendapatkan nilai 12%.

#### 5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] RAHIMI, M., MOHAMMADI, F., BASIRI, M., *et al.*, “Transesterification of soybean oil in four-way micromixers for biodiesel production using a cosolvent”, *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, v. 64, pp. 203–210, Apr. 2016.
- [2] JULIANTO, T.S., NURLESTARI, R., “The effect of acetone amount ratio as co-solvent to methanol in transesterification reaction of waste cooking oil”, *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*, v. 349, n. 012063, pp. 1 – 4, 2018.
- [3] LASKAR, I.B., DESHMUKHYA, T., BHANJA, P., *et al.*, “Transesterification of soybean oil at room temperature using biowaste as catalyst; an experimental investigation on the effect of co-solvent on biodiesel yield”, *Renewable Energy*, v. 162, pp. 98–111, 2020.
- [4] SINGH, V., YADAV, M., SHARMA, Y.C., “Effect of co-solvent on biodiesel production using calcium aluminium oxide as a reusable catalyst and waste vegetable oil”, *Fuel*, v. 203, pp. 360–369, Apr. 2017.
- [5] CHUELUECHA, N., KAEWCHADA, A., JAREE, A., “Enhancement of biodiesel synthesis using co-solvent in a packed-microchannel”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 51, pp. 162–171, 2017.
- [6] PARIDA, S., SAHU, D.K., MISRA, P.K., “Optimization of transesterification process by the application of ultrasound energy coupled with diesel as cosolvent”, *Journal of the Energy Institute*, v. 90, n. 4, pp. 556–562, 2016.
- [7] ENCINAR, J.M., PARDAL, A., SANCHEZ, N., “An improvement to the transesterification process by the use of co-solvents to produce biodiesel”, *Fuel*, v. 66, pp. 51–58, 2016.
- [8] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Transesterification of palm oil with NaOH catalyst using co-solvent methyl ester”, *International Journal of ChemTech Research*, v. 9, n. 12, pp. 570–575, 2016.
- [9] LE, H.N.T., IMAMURA, K., WATANABE, N., *et al.*, “Biodiesel production from rubber seed oil by transesterification using a co-solvent of fatty acid methyl esters”, *Chemical Engineering & Technology*, v. 41, n. 5, pp. 1013–1018, 2018.
- [10] UYEN, N.H.P., THAO, P.T.P., ASADA, R., *et al.*, “A new method for production of green biodiesel fuel using FAME as a co-solvent”, *Eco-Engineering*, v. 32, n. 3, pp. 61–67, 2020.
- [11] DARYONO, E.D., MUSTIADI, L., “Pengaruh penambahan *co-solvent* metil ester dan waktu reaksi pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*)”, *Jurnal Teknik Kimia USU*, v. 11, n. 1, pp. 16-20, 2022.
- [12] JIMMY, “Kinetika reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit”, *Jurnal Teknik Kimia*, v. 7, n. 1, pp. 12-16, 2012.
- [13] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Rapid in situ transesterification of papaya seeds to biodiesel with the aid of co-solvent”, *International Journal of Renewable Energy Research*, v. 7, n. 1, pp. 379-385, 2017.
- [14] MARLINA, E., BASJIR, M., ICHIYANAGI, M., *et al.*, “Role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel”, *Automotive Experiences*, v. 3, n. 1, pp. 33–38, 2020.
- [15] MARTIN, M., ANWAR, S., ZEIN, N., “Analisa perbandingan bahan bakar solar dengan biodiesel B-20 minyak kelapa sawit terhadap performance engine Komatsu Saa12V140E-3”, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, v. 02, n. 02, pp. 48–56, Okt. 2020.
- [16] RAZI, M., SISWANTO, E., WIJAYANTI, W., “Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor

bakar 6 langkah berbahan bakar etanol”, *Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 3, pp. 299–308, 2019.

[17] WAHYUDI, D.A., RANTO, BASORI, “Analisis perbandingan biodiesel minyak sawit, minyak biji kepuh dan minyak jelantah terhadap emisi gas buang dan opasitas pada mesin diesel”, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan*, v. 11, n. 01, pp. 22–26, 2018.



# JURNAL REKAYASA MESIN

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia  
Telp. : +62-341-587710 Psw. 228 ; Fax : +62-341-554291  
E-mail : [rekayasa.mesin@ub.ac.id](mailto:rekayasa.mesin@ub.ac.id) atau <http://mesin.ub.ac.id/>

26 Mei 2022

Nomor : 173/JRM.62/10.6.1/2022

Hal : **Pemberitahuan Penerbitan Jurnal Rekayasa Mesin**

Kepada Yth.

Sdr. Elvianto Dwi Daryono

Bersama ini kami beritahukan bahwa:

Nama : **Elvianto Dwi Daryono**

No. Artikel : **ART 1056-JRM**

Judul : **PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT  
DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS)  
DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR**

Artikel saudara telah **Diterima** dan akan diterbitkan di **Jurnal Rekayasa Mesin  
Volume 13 Tahun 2022.**

Atas perhatian dan kerjasama yang baik disampaikan terima kasih.

Pemimpin Umum  
Jurnal Rekayasa Mesin



Prof. Dr. Ir. Not B. Darmadi, MT., Ph.D.  
NIP. 19670518 199412 1 001

## PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN CO-SOLVENT FAME (FATTY ACID METHYL ESTERS) DAN APLIKASINYA PADA MOTOR BAKAR

### Elvianto Dwi Daryono

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Kimia  
elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

### Lalu Mustiadi

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jurusan Teknik Mesin  
lamusdi@yahoo.co.id

*The process of transesterification is slow due to the low solubility of triglycerides in methanol. The limitation of mass transfer can be overcome by adding a co-solvent. Co-solvent FAME is the right choice because it is the product of the reaction itself so that it does not require a separation process. The purpose of this study was to examine the use of FAME as a co-solvent in the transesterification of palm oil and its application to the combustion engine. The operating conditions were palm oil mass of 250 gr, NaOH catalyst 1.2% wt, stirring speed 100 rpm, reaction temperature 70°C, ratio molar of oil:methanol = 1:6, reaction time (5,10,15,20,25,30 minutes), and co-solvent (0,5,10,15% wt). After the optimum conditions are obtained, the next step is to make biodiesel on a semi pilot plant scale. Oil, methanol, NaOH and co-solvent were put into a stirred reactor and heated at a reaction temperature of 70°C. After the reaction is complete then it is flowed into the separator for separation by adding hot water to form 2 layers. The top layer is biodiesel which was analyzed and performance test on the combustion engine. The optimum condition of the process is a reaction time of 10 minutes and the addition of 10% co-solvent, with a yield of 76.7783%. The results of the analysis of SNI 7182:2012 states that biodiesel meets almost all requirements. From the biodiesel performance test on the combustion engine, B10 got quite satisfactory results for the torque and opacity test parameters.*

**Keywords:** Transesterification, Co-Solvent, FAME, Palm Oil, Combustion Engine.

## 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan biodiesel yang sering dilakukan adalah proses transesterifikasi karena dapat menghasilkan *yield* yang relatif tinggi. Proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dari minyak dengan alkohol dimana yang sering dipakai adalah metanol menggunakan katalis basa membentuk metil ester atau biodiesel dan gliserol. Kendala pada proses transesterifikasi adalah kelarutan reaktan yaitu trigliserida dan metanol yang terbatas. Proses transesterifikasi dengan katalis basa memiliki laju reaksi yang lambat dan sering berhenti sebelum tercapai konversi sempurna. Trigliserida bersifat non-polar sedangkan metanol bersifat polar sehingga sulit bercampur. Salah satu cara untuk mengatasi terbatasnya kelarutan reaktan pada proses transesterifikasi adalah dengan penambahan *co-solvent*.

Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak kedelai pada suhu reaksi 60°C, rasio volume *co-solvent* n-heksana:metanol = 0,4, waktu reaksi 9 detik, rasio volume minyak:metanol = 2 dan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 98,81% [1]. Penelitian selanjutnya menggunakan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak goreng bekas mendapatkan *yield* 72,7% pada rasio massa *co-solvent* aseton:metanol = 1:2, rasio molar minyak:metanol = 12:1, waktu reaksi 15 menit, suhu reaksi 27°C dan putaran pengaduk

600 rpm [2]. Penelitian dengan bahan baku minyak kedelai tetapi dengan katalis yang berbeda yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO 3% wt., mendapatkan *yield* 98% pada massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, waktu reaksi 2 jam dan suhu ruang [3]. Penelitian lain dengan bahan baku limbah minyak goreng yaitu transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,2% wt., mendapatkan konversi 97,98% dengan massa *co-solvent* aseton 20%, rasio molar minyak:metanol = 6:1, suhu reaksi 55°C dan waktu reaksi 25 menit [4]. Penelitian menggunakan minyak kedelai dan katalis CaO tetapi dengan *co-solvent* berbeda yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan massa katalis CaO 30 mg, mendapatkan konsentrasi FAME 99% pada massa *co-solvent* iso-propanol 14,5%, rasio molar minyak:metanol = 20:1, waktu reaksi 6,5 menit dan suhu reaksi 65°C [5]. Penelitian lain dengan *raw material* minyak kedelai dan katalis basa dengan *co-solvent* solar yaitu transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 92% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 50°C, rasio mol minyak:metanol = 1:3 dan massa *co-solvent diesel oil* 30% [6]. Pada penelitian dengan bahan baku yang berbeda yaitu transesterifikasi *rapeseed oil* dengan *co-solvent* dietil eter mendapatkan *yield* 97,6% pada rasio molar DEE:metanol = 1:1, rasio molar minyak:metanol = 1:9, waktu reaksi 2 jam, suhu reaksi 30°C, katalis KOH 0,7% wt. dan kecepatan pengadukan 700 rpm [7].

Pada proses transesterifikasi dengan *co-solvent* yang telah dilakukan, *co-solvent* yang digunakan harganya relatif mahal dan perlu proses pemisahan di akhir reaksi sehingga menambah panjang tahapan proses pembuatan biodiesel [8]. Alternatif *co-solvent* yang harganya murah dan tanpa proses pemisahan di akhir reaksi adalah metil ester yang merupakan produk reaksi transesterifikasi. Beberapa penelitian proses transesterifikasi dengan menggunakan *co-solvent* metil ester telah dilakukan. Pada transesterifikasi minyak biji kapas dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan konsentrasi FAME 99,2% pada waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 40°C, rasio mol minyak:metanol = 1:4,5 dan massa *co-solvent* metil oleat 34% [9]. Kemudian pada transesterifikasi dengan bahan baku berbeda yaitu transesterifikasi *canola oil* dengan katalis KOH 1% wt., mendapatkan *yield* 97% pada waktu reaksi 1 jam, suhu reaksi 30°C, rasio mol minyak:metanol = 1:6 dan massa *co-solvent* FAME 20% [10].

Proses transesterifikasi dengan katalis NaOH dan *co-solvent* metil ester yang telah dilakukan belum mendapatkan *yield* yang memuaskan ditinjau dari massa katalis, waktu reaksi dan massa penambahan *co-solvent* FAME. Pada transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11]. Selain itu juga tidak dilakukan analisa total sifat fisik metil ester yang dihasilkan apakah sudah memenuhi standar biodiesel atau belum serta tidak dilakukan uji *performance* biodiesel yang dihasilkan pada motor bakar. Tujuan penelitian adalah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH dan *co-solvent* FAME serta aplikasinya pada motor bakar.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak kelapa sawit merk Sunco, HCl cair p.a (Sigma Aldrich, 37%), etanol cair p.a (Sigma Aldrich, 96%), indikator PP, KOH pellet p.a (Riedel-de Haen, 99%), metanol cair p.a (MERCK, 99,9%), aseton dan NaOH pellet p.a. (Riedel-de Haen, 99%).

### 2.2 Persiapan Bahan Baku.

Minyak kelapa sawit dilakukan analisa FFA dan kadar air. Jika % FFA  $\geq 0,5\%$  maka dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam, tetapi jika FFA  $< 0,5\%$  bisa langsung dilakukan reaksi transesterifikasi. Jika kadar air  $> 1\%$  maka dilakukan pemanasan pada suhu 110°C sampai kadar air  $\leq 1\%$ .

### 2.3 Pembuatan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Setelah minyak kelapa sawit mencapai suhu 60°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 60°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam dan suhu reaksi 60°C. Penentuan variabel tersebut didasari dari kondisi optimum yang didapatkan pada penelitian transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan konsentrasi FAME optimum 88% [12]. Hasil reaksi kemudian ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk menetralkan katalis dan dimasukkan corong pemisah selama 12 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan FAME kemudian dianalisa konsentrasi metil esternya dengan



GC (*Gas Chromatography*).

#### 2.4 Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Co-solvent FAME

Menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1,2% wt. minyak dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Minyak kelapa sawit dan *co-solvent* FAME (0, 5, 10, 15% wt. minyak) dimasukkan dalam *Erlenmeyer* dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Metanol dan katalis NaOH dimasukkan labu leher tiga, diaduk dan dipanaskan sampai suhu 70°C. Setelah minyak kelapa sawit dan *co-solvent* mencapai suhu 70°C, dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor yang berisi metanol dan katalis NaOH yang juga telah mencapai suhu 70°C. Ketiga bahan direaksikan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi (5, 10, 15, 20, 25, 30 menit) dan suhu reaksi 70°C. Setelah reaksi selesai sesuai variabel waktu penelitian, diambil sampel sebanyak 50 gram dan ditambahkan HCl 1 N sampai pH 7 untuk netralisasi katalis NaOH agar reaksi berhenti. Sample kemudian dimasukkan dalam corong pemisah dan dibiarkan selama ±12 jam agar terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas merupakan metil ester, minyak sisa reaksi dan *impurities* lain yang terikut, kemudian didestilasi pada suhu ± 110°C untuk memisahkan impuritis yang masih terikut. Residu hasil destilasi kemudian disaring sehingga didapatkan metil ester yang berwarna jernih dan ditimbang sebagai massa produk. Metil ester kemudian dianalisa konsentrasi FAME menggunakan GC. Lapisan bawah merupakan campuran gliserol, sisa metanol dan hasil reaksi netralisasi katalis. Menghitung yield FAME dengan Persamaan (1).

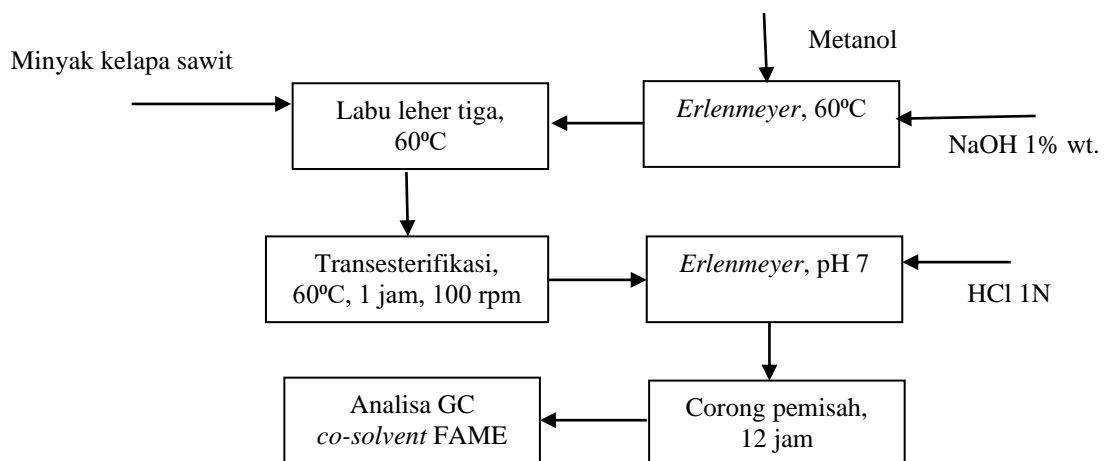
$$Yield = \left[ \frac{(M1 - M2) \times C1}{M3} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Dimana M1 = massa produk, M2 = massa *co-solvent*, C1 = konsentrasi FAME dan M3 = massa minyak kelapa sawit awal.

#### 2.5 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

Setelah mendapatkan kondisi optimum proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME, maka tahap berikutnya adalah membuat biodiesel skala semi *pilot plant* menggunakan alat pada Gambar 1. Biodiesel yang dihasilkan akan dilakukan analisa kualitas biodiesel sesuai dengan SNI 7182:2012 dan uji *performance* biodiesel pada motor bakar.

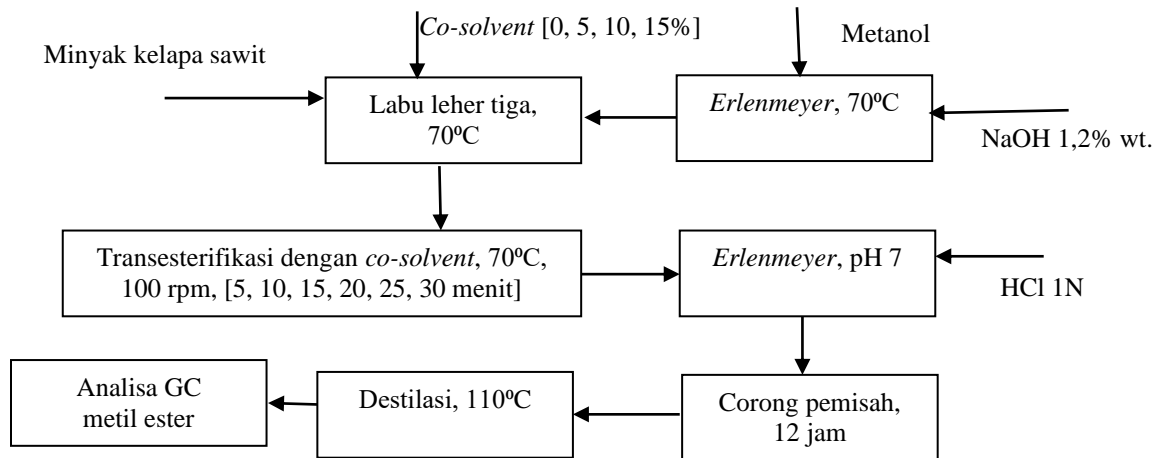
#### 2.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1: Diagram alir pembuatan *co-solvent* FAME.

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian untuk proses pembuatan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Untuk pembuatan *co-solvent* menggunakan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan metanol dengan katalis NaOH untuk menghasilkan metil ester dan gliserol. Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl untuk netralisasi katalis sehingga reaksi akan berhenti. Reaksi netralisasi:  $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ . Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah metil ester dan minyak yang tidak bereaksi, sedangkan lapisan bawah adalah

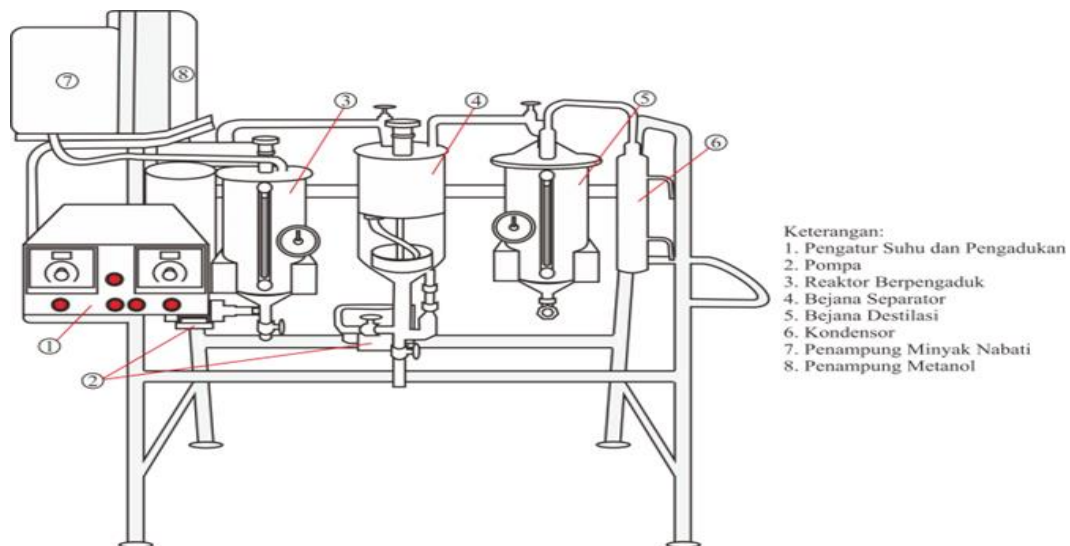
gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil sebagai produk dan dilakukan analisa GC untuk mengetahui konsentrasi metil ester yang akan digunakan sebagai *co-solvent*.



**Gambar 2:** Diagram alir proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME.

Gambar 2 merupakan diagram alir penelitian untuk proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Setelah akhir reaksi ditambahkan HCl 1 N untuk menghentikan reaksi karena reaksi bersifat reversibel. Pemisahan hasil dan sisa reaksi dilakukan di corong pemisah. Pada corong pemisah akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah *co-solvent*, metil ester, minyak yang tidak bereaksi dan pengotor, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol, metanol dan hasil reaksi netralisasi. Lapisan atas diambil dan dilakukan destilasi untuk memisahkan pengotor. Residu hasil destilasi adalah produk biodiesel yang selanjutnya dilakukan analisa GC untuk mengetahui konsentrasi metil ester.

## 2.7 Deskripsi alat.



**Gambar 3:** Alat produksi biodiesel skala semi *pilot plant*.

Mekanisme pembuatan biodiesel menggunakan alat pada Gambar 3 diawali dengan menimbang minyak 1,5 kg, katalis NaOH 1,2% wt. minyak (18 gr) dan rasio molar minyak:metanol = 1:6 (massa metanol = 291,2033 gr). Minyak kelapa sawit setelah ditimbang dimasukkan ke dalam penampung minyak nabati (7), begitu juga metanol dimasukkan ke dalam penampung metanol (8). Minyak kelapa sawit, metanol, katalis NaOH dan *co-solvent* FAME sesuai kondisi optimum proses dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk (3), diaduk dan dipanaskan pada suhu reaksi 70°C menggunakan pengatur suhu dan pengadukan (1), dengan waktu reaksi

sesuai kondisi optimum proses. Setelah reaksi selesai, hasil reaksi kemudian dialirkan dengan pompa (2) menuju bejana separator (4) untuk proses pemisahan. Pada bejana separator (4) ditambahkan air panas yang volumenya sama dengan volume hasil reaksi untuk melarutkan gliserol, katalis NaOH dan metanol yang tidak bereaksi. Di dalam bejana separator (4) dilakukan pengadukan dan mendekantasi hasil pencucian dengan air panas selama sekitar 1 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan bawah adalah hasil proses pencucian yaitu air, gliserol, katalis NaOH dan metanol sisa reaksi yang kemudian dialirkan dengan pompa (4) menuju bejana destilasi (5) yang dilengkapi dengan kondensor (6) yang dioperasikan pada suhu 70°C untuk menguapkan metanol ( $t_d$  metanol = 64,7°C). Produk bejana destilasi (5) ada 2 yaitu destilat adalah metanol yang kemudian ditampung dalam Erlenmeyer dan residu adalah air, gliserol dan katalis NaOH yang juga ditampung dalam wadah. Lapisan atas adalah produk biodiesel yang ditampung dalam wadah dan kemudian dilakukan analisa sesuai SNI 7182:2012 dan uji *performance* pada motor bakar.

## 2.8 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar

Uji *performance* biodiesel pada motor bakar meliputi uji torsi (N.m), waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar (detik), konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW) dan uji kepekatan (%).

## 3 HASIL DAN DISKUSI

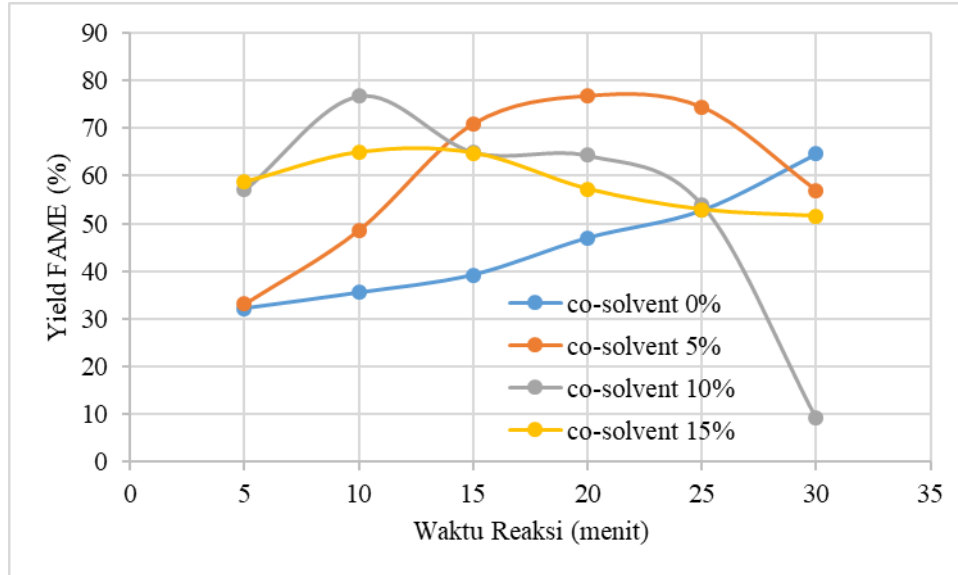
### 3.1 Persiapan bahan baku

Hasil analisa bahan baku minyak kelapa sawit didapatkan % FFA 0,12% dan kadar air 0,05%, sehingga minyak kelapa sawit bisa langsung digunakan untuk proses transesterifikasi.

### 3.2 Pembuatan *co-solvent* FAME

Dari hasil analisa GC didapatkan *co-solvent* FAME dengan konsentrasi 98%.

### 3.3 Reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME



**Gambar 4:** Hubungan waktu reaksi dan yield FAME dengan variasi massa *co-solvent*.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa *yield* FAME optimum yang didapatkan berbeda-beda sesuai dengan variasi penambahan *co-solvent* FAME yang dilakukan. Pada penambahan *co-solvent* FAME 5%, *yield* FAME optimum yaitu 76,79717% didapatkan pada waktu reaksi 20 menit. Pada penambahan *co-solvent* FAME 10%, *yield* FAME optimum yaitu 76,7783% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit dan pada penambahan *co-solvent* FAME 15%, *yield* FAME optimum yaitu 64,9380% didapatkan pada waktu reaksi 10 menit. Semakin banyak *co-solvent* FAME yang ditambahkan, semakin cepat reaksi mencapai kesetimbangan. Hal ini terjadi karena *co-solvent* FAME yang ditambahkan adalah produk dari reaksi itu sendiri sehingga jika reaksi kesetimbangan telah tercapai maka reaksi akan dengan cepat bergeser ke arah reaktan. Dengan bergesernya reaksi ke arah reaktan menyebabkan *yield* FAME yang didapatkan menurun, karena FAME yang

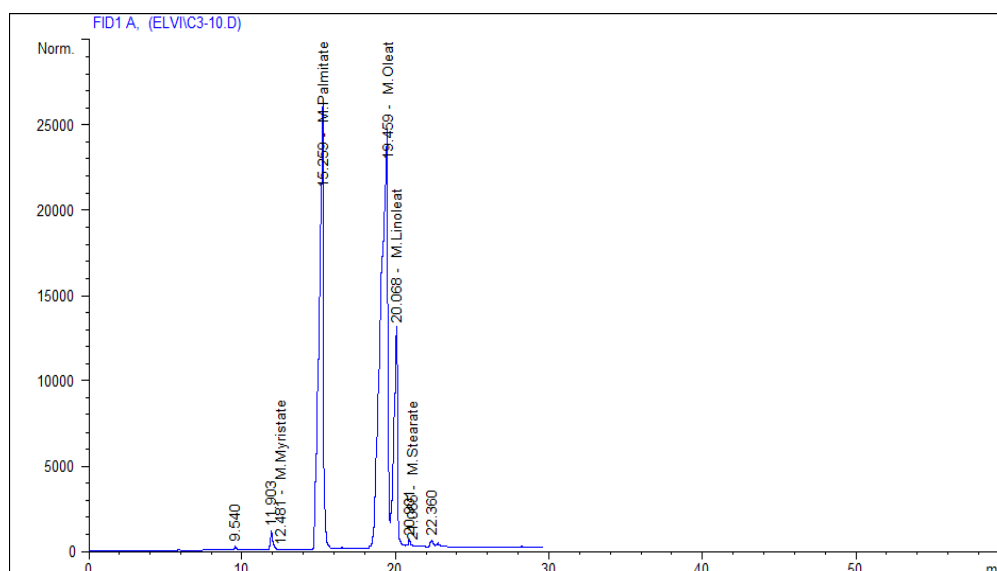
sudah terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak kembali (reaksi transesterifikasi bersifat *reversible*) [13]. Gabungan antara penambahan *co-solvent* FAME dan massa katalis NaOH 1,2% wt. mempercepat reaksi transesterifikasi mencapai kesetimbangan. Pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit tanpa *co-solvent*, *yield* FAME tertinggi yaitu 64,6471% didapatkan pada waktu reaksi 30 menit, dimana pada variabel tersebut belum didapatkan kondisi optimum.

Kondisi optimum penelitian mendapatkan *yield* FAME 76,7783% pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., suhu reaksi 70°C, waktu reaksi 10 menit dengan penambahan *co-solvent* FAME 10%. Hasil yang didapatkan lebih baik dibandingkan dengan proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* metil ester 15% dan katalis NaOH 1% wt., yang mendapatkan *yield* 57,33% pada waktu reaksi 15 menit dan suhu reaksi 70°C [11].

**Tabel 1:** Data *yield* pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. dan *co-solvent* FAME.

CO-SOLVENT FAME (%)	WAKTU REAKSI (MENIT)	YIELD FAME (%)
0	5	32,2022
	10	35,5189
	15	39,2700
	20	47,0310
	25	52,8098
	30	64,6471
5	5	33,1022
	10	48,6217
	15	70,9153
	20	76,7971
	25	74,4373
	30	57,0107
10	5	57,0279
	10	76,7783
	15	65,0307
	20	64,3318
	25	54,0301
	30	9,2391
15	5	58,6836
	10	64,9379
	15	64,7943
	20	57,2556
	25	52,9725
	30	51,5851

Tabel 1 menunjukkan data *yield* FAME yang didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt., menggunakan variasi massa *co-solvent* FAME dan waktu reaksi. Terlihat pada Tabel 1 bahwa semakin lama waktu reaksi maka *yield* FAME yang didapatkan semakin besar, tetapi setelah mencapai waktu reaksi optimum *yield* FAME akan turun.



**Gambar 5:** Kromatogram GC untuk transesterifikasi dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

Gambar 5 menunjukkan kromatogram hasil analisa GC untuk FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses.

**Tabel 2:** Komposisi FAME dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit.

FAME	KOMPOSISI (%)
Metil miristat	0,0316
Metil palmitat	6,5141
Metil oleat	92,7553
Metil linoleat	0,6596
Metil stearat	0,0394

Tabel 2 menunjukkan komposisi FAME yang terbentuk pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan *co-solvent* FAME 10% dan waktu reaksi 10 menit yang merupakan kondisi optimum proses. Komposisi FAME yang terbentuk identik dengan asam lemak penyusun trigliserida minyak kelapa sawit yaitu metil palmitat, metil oleat, metil linoleat dan metil stearat [14].

### 3.4 Pembuatan biodiesel skala semi *pilot plant*

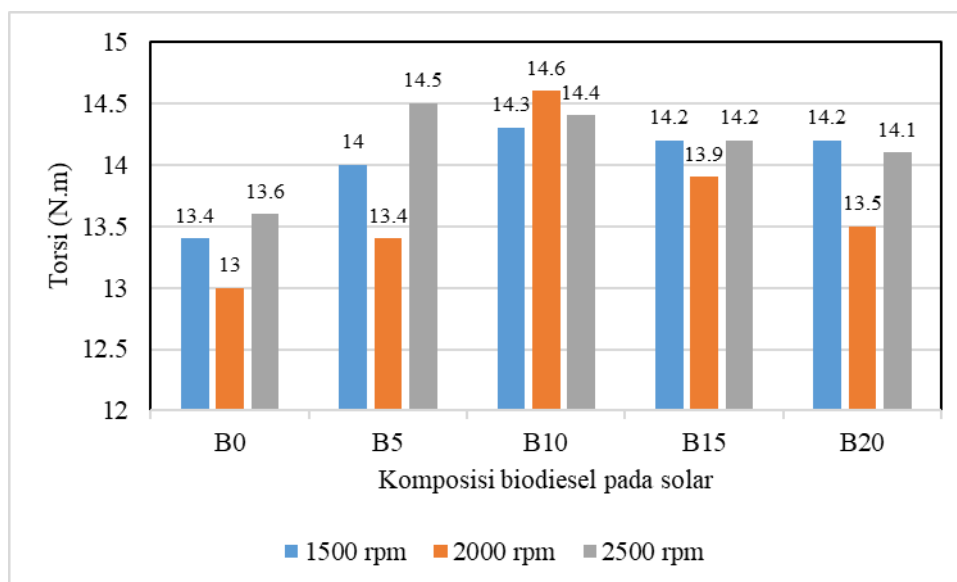
**Tabel 3:** Hasil analisa produk biodiesel pada kondisi proses optimum sesuai SNI 7182:2012.

PARAMETER	UNIT	HASIL	STANDARD	
			MINIMUM	MAXIMUM
Densitas pada 40°C	kg/L	0,8749	850 – 890	
Viskositas kinematik pada 40°C	cSt	4,56	2,3 – 6,0	
<i>Cetane index</i>	-	71,68	51	-
<i>Flash point</i>	°C	150	100	-
<i>Cloud point</i>	°C	13	-	18
<i>Copperstrip corrosion</i> (3 jam/50°C)	Merit	1a	Nomor 1	
<i>Conradson carbon residue</i>	%	0,02	-	0,05

<i>Water content</i>	%	0,08	-	0,05
<i>Sedimen content</i>	%	< 0,01	-	0,05
Temperatur distilasi 90% vol.	°C	370	-	360
<i>Sulfated ash</i>	%	0,01	-	0,02
Sulfur (S)	%	0,20	-	100
Phospor (P)	ppm	< 10	-	10
Angka asam	%	0,05	-	0,6
Gliserol bebas	%	0,02	-	0,02
Gliserol total	%	0,12	-	0,24
Konsentrasi metil ester	%	97,95	96,5	-
Angka iodine	%	63,85	-	115
Stabilitas oksidasi (metode Rancimat)	jam	0,12	300 menit	

Pada Tabel 3 terlihat bahwa produk biodiesel yang dihasilkan memenuhi hampir semua standard biodiesel SNI 7182:2012 kecuali pada *water content*, temperature distilasi 90% vol. dan stabilitas oksidasi (metode Rancimat). Tidak terpenuhinya syarat *water content* disebabkan masih ada air sisa pencucian pada biodiesel karena proses pemisahan yang kurang sempurna. Tidak terpenuhinya syarat temperature distilasi 90% vol. disebabkan masih ada komponen lain dengan titik didih tinggi seperti minyak yang tidak bereaksi yang terikut pada produk biodiesel. Tidak terpenuhinya syarat stabilitas oksidasi (metode Rancimat) disebabkan karena alat penyimpanan yang tidak sesuai dan waktu penyimpanan sebelum dilakukan analisa yang terlalu lama, sehingga selama rentang waktu tersebut terjadi reaksi oksidasi pada produk biodiesel.

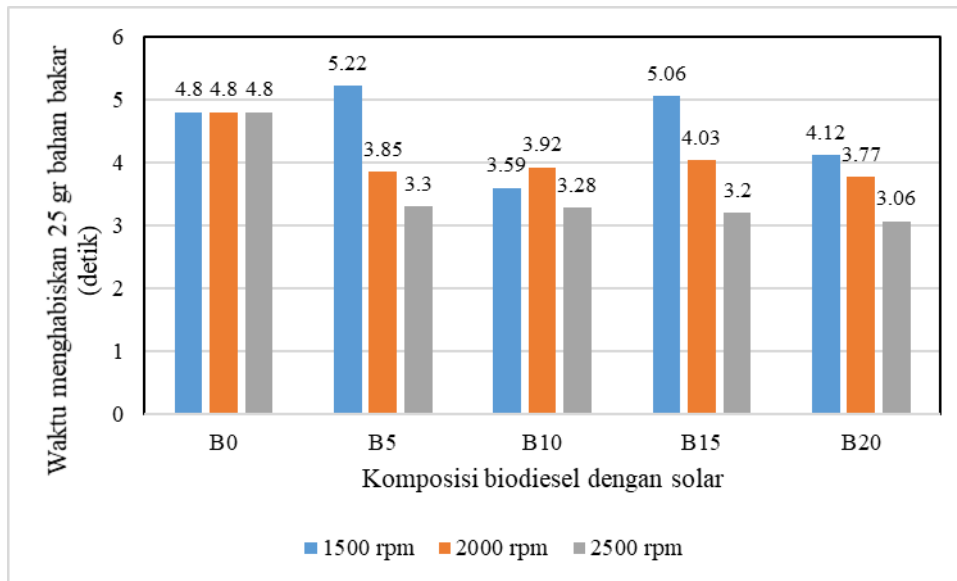
### 3.5 Uji *performance* biodiesel pada motor bakar



**Gambar 6:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan torsi dengan variasi kecepatan putaran.

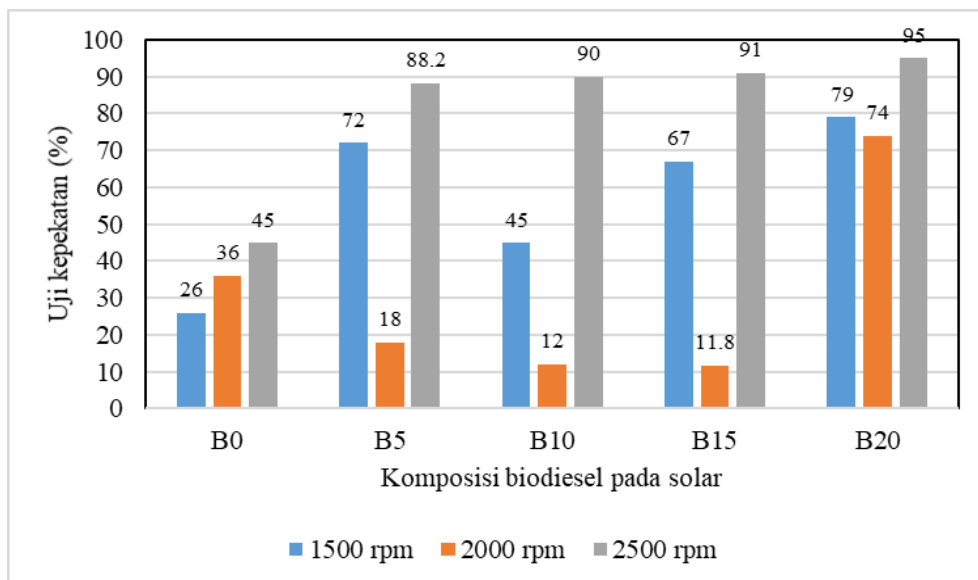
Pada Gambar 6 secara umum bisa dilihat bahwa semakin banyak biodiesel yang ditambahkan pada solar maka torsi juga akan semakin naik, tetapi ada kondisi optimum dimana torsi justru turun. Begitu juga semakin tinggi kecepatan putaran mesin maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Kondisi optimum didapatkan pada B10 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm yaitu mendapatkan torsi 14,6 N.m. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai torsi 320 kg.m pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm. Penggunaan etanol murni mendapatkan nilai torsi 0,57 kg.m pada pengujian pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar

etanol 28° [16].



**Gambar 7:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa B5 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm merupakan kondisi optimum yaitu waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar paling lama 5,22 detik. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar dan semakin cepat waktu menghabiskan bahan bakar. Jika penambahan biodiesel pada solar semakin tinggi maka waktu menghabiskan 25 gr bahan bakar semakin cepat. Hal ini disebabkan karena nilai kalor biodiesel kecil sehingga konsumsi bahan bakar besar. Martin, *et al.* [15] mendapatkan laju aliran bahan bakar 172 kg/jam pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.



**Gambar 8:** Hubungan komposisi biodiesel pada solar dan uji kepekatan dengan variasi kecepatan putaran.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa B15 dengan kecepatan putaran mesin 2000 rpm merupakan kondisi optimum yaitu nilai uji kepekatan terkecil 11,8%. Semakin kecil nilai uji kepekatan maka semakin baik karena semakin kecil kepekatan gas buang yang dihasilkan. Kepekatan asap dipengaruhi oleh banyaknya O<sub>2</sub> dalam bahan bakar. Biodiesel merupakan bioenergi yang bebas belerang dan mengandung 10-12% O<sub>2</sub> yang dapat mengurangi polusi dan kepekatan gas buang, sehingga semakin banyak biodiesel yang ditambahkan akan semakin baik tetapi tentunya ada batas optimum yang dicapai. Wahyudi, *et al.* [17] mendapatkan nilai opasitas 49,43% untuk pengujian B20 minyak kelapa sawit pada mesin diesel.

Untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik, semua variable penelitian mendapatkan nilai yang sama yaitu 25 gr/kWh. Martin, *et al.* [15] mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik 0,232 kg/kWh pada B20 dengan kecepatan putaran mesin 1500 rpm.

#### 4 KESIMPULAN

Kondisi optimum didapatkan pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1,2% wt. pada waktu reaksi 10 menit menggunakan *co-solvent* FAME 10% dengan *yield* FAME 76,7783%. Dari hasil analisa standard biodiesel SNI 7182:2012, produk biodiesel pada kondisi proses optimum memenuhi hampir semua persyaratan sehingga layak diujicobakan pada motor bakar. Dari uji *performance* biodiesel pada motor bakar, B10 mendapatkan nilai yang cukup memuaskan. Untuk kecepatan putaran mesin 2000 rpm, B10 mendapatkan torsi 14,6 N.m dan untuk uji kepekatan mendapatkan nilai 12%.

#### 5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] RAHIMI, M., MOHAMMADI, F., BASIRI, M., *et al.*, “Transesterification of soybean oil in four-way micromixers for biodiesel production using a cosolvent”, *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*, v. 64, pp. 203–210, Apr. 2016.
- [2] JULIANTO, T.S., NURLESTARI, R., “The effect of acetone amount ratio as co-solvent to methanol in transesterification reaction of waste cooking oil”, *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*, v. 349, n. 012063, pp. 1 – 4, 2018.
- [3] LASKAR, I.B., DESHMUKHYA, T., BHANJA, P., *et al.*, “Transesterification of soybean oil at room temperature using biowaste as catalyst; an experimental investigation on the effect of co-solvent on biodiesel yield”, *Renewable Energy*, v. 162, pp. 98–111, 2020.
- [4] SINGH, V., YADAV, M., SHARMA, Y.C., “Effect of co-solvent on biodiesel production using calcium aluminium oxide as a reusable catalyst and waste vegetable oil”, *Fuel*, v. 203, pp. 360–369, Apr. 2017.
- [5] CHUELUECHA, N., KAEWCHADA, A., JAREE, A., “Enhancement of biodiesel synthesis using co-solvent in a packed-microchannel”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 51, pp. 162–171, 2017.
- [6] PARIDA, S., SAHU, D.K., MISRA, P.K., “Optimization of transesterification process by the application of ultrasound energy coupled with diesel as cosolvent”, *Journal of the Energy Institute*, v. 90, n. 4, pp. 556–562, 2016.
- [7] ENCINAR, J.M., PARDAL, A., SANCHEZ, N., “An improvement to the transesterification process by the use of co-solvents to produce biodiesel”, *Fuel*, v. 66, pp. 51–58, 2016.
- [8] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Transesterification of palm oil with NaOH catalyst using co-solvent methyl ester”, *International Journal of ChemTech Research*, v. 9, n. 12, pp. 570–575, 2016.
- [9] LE, H.N.T., IMAMURA, K., WATANABE, N., *et al.*, “Biodiesel production from rubber seed oil by transesterification using a co-solvent of fatty acid methyl esters”, *Chemical Engineering & Technology*, v. 41, n. 5, pp. 1013–1018, 2018.
- [10] UYEN, N.H.P., THAO, P.T.P., ASADA, R., *et al.*, “A new method for production of green biodiesel fuel using FAME as a co-solvent”, *Eco-Engineering*, v. 32, n. 3, pp. 61–67, 2020.
- [11] DARYONO, E.D., MUSTIADI, L., “Pengaruh penambahan *co-solvent* metil ester dan waktu reaksi pada proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*)”, *Jurnal Teknik Kimia USU*, v. 11, n. 1, pp. 16-20, 2022.
- [12] JIMMY, “Kinetika reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit”, *Jurnal Teknik Kimia*, v. 7, n. 1, pp. 12-16, 2012.
- [13] DARYONO, E.D., SINAGA, E.J., “Rapid in situ transesterification of papaya seeds to biodiesel with the aid of co-solvent”, *International Journal of Renewable Energy Research*, v. 7, n. 1, pp. 379-385, 2017.
- [14] MARLINA, E., BASJIR, M., ICHIYANAGI, M., *et al.*, “Role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel”, *Automotive Experiences*, v. 3, n. 1, pp. 33–38, 2020.
- [15] MARTIN, M., ANWAR, S., ZEIN, N., “Analisa perbandingan bahan bakar solar dengan biodiesel B-20 minyak kelapa sawit terhadap performance engine Komatsu Saa12V140E-3”, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, v. 02, n. 02, pp. 48–56, Okt. 2020.



- [16] RAZI, M., SISWANTO, E., WIJAYANTI, W., “Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol”, *Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 3, pp. 299–308, 2019.
- [17] WAHYUDI, D.A., RANTO, BASORI, “Analisis perbandingan biodiesel minyak sawit, minyak biji kepuh dan minyak jelantah terhadap emisi gas buang dan opasitas pada mesin diesel”, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan*, v. 11, n. 01, pp. 22–26, 2018.