

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian pengaruh waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dan variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data sifat fisik biodiesel pada transesterifikasi minyak biji alpukat dengan persentase metanol 10%

Waktu Transesterifikasi (menit)	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Titik nyala (°C)	Nilai kalor (kkal/kg)	Titik tuang (°C)	Indeks setana
30	914,3	15,985.10 <sup>-6</sup>	190	8664,62	1	40,304
45	913,6	15,510.10 <sup>-6</sup>	188	8508,80	1	40,599
60	911,3	15,445.10 <sup>-6</sup>	188	8158,49	2	40,618
75	910,4	15,390.10 <sup>-6</sup>	187	8754,77	2	40,833
90	903,8	11,480.10 <sup>-6</sup>	185	8904,16	5	41,151

Tabel 4.2 Data sifat fisik biodiesel pada transesterifikasi minyak biji alpukat dengan persentase metanol 20%

Waktu Transesterifikasi (menit)	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Titik nyala (°C)	Nilai kalor (kkal/kg)	Titik tuang (°C)	Indeks setana
30	880,1	5,451.10 <sup>-6</sup>	178	10822,97	7	47,468
45	879,2	5,382.10 <sup>-6</sup>	178	10172,42	7	47,208
60	876	4,679.10 <sup>-6</sup>	175	9637,65	8	48,205
75	876,2	4,698.10 <sup>-6</sup>	175	9738,28	8	48,188
90	883,8	5,902.10 <sup>-6</sup>	178	10113,34	6	47,692

Tabel 4.3 Data sifat fisik biodiesel pada transesterifikasi minyak biji alpukat dengan persentase metanol 30%

Waktu Transesterifikasi (menit)	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Titik nyala (°C)	Nilai kalor (kkal/kg)	Titik tuang (°C)	Indeks setana
30	875,2	4,655.10 <sup>-6</sup>	175	10828,07	7	48,150
45	874,9	4,644.10 <sup>-6</sup>	174	10260,91	9	48,926
60	874,8	4,643.10 <sup>-6</sup>	174	10254,85	9	48,909
75	876	4,679.10 <sup>-6</sup>	175	9682,07	8	48,195
90	877,4	4,784.10 <sup>-6</sup>	176	10675,41	8	47,813

## 4.2 Analisis Statistik

### 4.2.1 Analisis Varian

Hasil data pengujian pengaruh waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dan variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel tersebut kemudian dilakukan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi keduanya terhadap sifat fisik biodiesel. Hipotesis yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

- $H_0^1: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$  (tidak ada pengaruh waktu transesterifikasi terhadap sifat fisik biodiesel )  
 $H_1^1$ : paling sedikit satu  $\alpha_i \neq 0$  (ada pengaruh waktu transesterifikasi terhadap sifat fisik biodiesel)
- $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$  (tidak ada pengaruh variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel)  
 $H_1^2$ : paling sedikit satu  $\beta_j \neq 0$  (ada pengaruh variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel)
- $H_0^3: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$  (tidak ada pengaruh waktu transesterifikasi dan variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel)

$H_1^3$ : paling sedikit satu  $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$  (ada pengaruh variasi waktu transesterifikasi dan variasi persentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel)

#### 4.2.1.1 Analisis Varian Massa Jenis Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap massa jenis biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.4 Massa Jenis Biodiesel ( $\text{Kg/m}^3$ )

Variabel		Persentase Metanol			$\Sigma$	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	915,7	880,6	875,6	5339,2	
		912,9	879,6	874,8		
	45	914,7	880,2	875,7	5335,4	
		912,5	878,2	874,1		
	60	911,4	876,2	875	5324,2	
		911,2	875,8	874,6		
	75	911,5	876,7	875,5	5325,2	
		909,3	875,7	876,5		
	90	905	885,28	877,9	5330,08	
		902,6	882,4	876,9		
	$\Sigma$		9106,8	8790,68	8756,6	26654,08

Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

- Faktor koreksi (FK) :

$$\begin{aligned}
 \text{FK} &= \frac{\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \right]^2}{rcn} \\
 &= \frac{26654,08^2}{5 \times 3 \times 2} \\
 &= 23681332,69
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT) :

$$\begin{aligned}
 \text{JKT} &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \text{FK} \\
 &= [(915,7)^2 + (912,9)^2 + \dots + (876,9)^2] - 23681332,69 \\
 &= 23689043,22 - 23681332,69 \\
 &= 7710,53
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat pengaruh A (JKA) :

$$\begin{aligned}
 \text{JKA} &= \frac{\sum_{i=1}^r T_{i\dots}^2}{cn} - \text{FK} \\
 &= \frac{\{(5339,2)^2 + (5335,4)^2 + (5324,2)^2 + (5325,2)^2 + (5330,08)^2\}}{3 \times 2} - 3681332,69 \\
 &= 23681360,55 - 23681332,69 \\
 &= 27,86
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat pengaruh B (JKB) :

$$\begin{aligned}
 \text{JKB} &= \frac{\sum_{j=1}^c T_{j\dots}^2}{rn} - \text{FK} \\
 &= \frac{\{(9106,8)^2 + (8790,68)^2 + (8756,5)^2\}}{5 \times 2} - 23681332,69 \\
 &= 23688790,47 - 23681332,69 \\
 &= 7457,78
 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) :

$$\begin{aligned}
 \text{JKP} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - \text{FK} \\
 &= \frac{\{(3343777,96)^2 + (3098304,04)^2 + \dots + (3079323,04)^2\}}{2} - 23681332,69
 \end{aligned}$$

$$= 23689021,65 - 23681332,69$$

$$= 7688,96$$

- Jumlah Kuadrat pengaruh interaksi A dan B (JKAB) :

$$JKAB = JKP - JKA - JKB$$

$$= 7688,96 - 27,86 - 7457,78$$

$$= 203,32$$

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG) :

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

$$= 7710,53 - 27,86 - 7457,78 - 203,32$$

$$= 21,57$$

- Nilai varian dari masing-masing perlakuan sebagai berikut :

$$1. S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{27,86}{5-1} = 6,965$$

$$2. S_B^2 = \frac{JKB}{c-1} = \frac{7457,78}{3-1} = 3728,89$$

$$3. S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{203,32}{(5-1)(3-1)} = 101,66$$

$$4. S^2 = \frac{JKG}{rc(n-1)} = \frac{21,57}{5 \times 3(2-1)} = 1,44$$

- Nilai F hitung dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut:

1. Untuk faktor A :

$$F_{A \text{ hitung}} = \frac{S_A^2}{S^2} = \frac{6,965}{1,44} = 4,84$$

2. Untuk faktor B :

$$F_{B \text{ hitung}} = \frac{S_B^2}{S^2} = \frac{3728,89}{1,44} = 2593,44$$

3. Untuk faktor AB :

$$F_{AB \text{ hitung}} = \frac{S_{AB}^2}{S^2} = \frac{101,66}{1,44} = 70,71$$

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5 Analisis Varian Dua Arah untuk Massa Jenis Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	27,86	4	6,965	4,84	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	7457,78	2	3728,89	2593,44	3,68
Interaksi faktor A dan B	203,32	8	101,66	70,71	2,64
Galat	21,57	15	1,44		
Total	7710,53	29			

Dari tabel 4.5 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap massa jenis biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap massa jenis biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap massa jenis biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap massa jenis biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.1.2 Analisis Varian Viskositas Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap viskositas biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.6 Viskositas Biodiesel (  $\cdot 10^{-6}$  ) (m<sup>2</sup>/s)

Variabel		Persentase Metanol			Σ	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	15,87	5,266	4,61	52,182	
		16,10	5,636	4,7		
	45	15,6	5,419	4,467	51,072	
		15,42	5,345	4,821		
	60	15,71	5,401	4,79	51,534	
		15,18	5,957	4,496		
	75	15,30	4,883	4,671	49,475	
		15,42	4,513	4,688		
	90	11,52	5,913	4,708	44,332	
		11,44	5,891	4,86		
	Σ		147,56	54,224	46,811	248,595

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.7 Analisis Varian Dua Arah untuk Viskositas Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	6,712	4	1,678	41,29	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	630,564	2	315,282	7758,30	3,68
Interaksi faktor A dan B	22,264	8	11,132	273,93	2,64
Galat	0,609	15	0,04		
Total	660,149	29			

Dari tabel 4.7 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap viskositas biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap viskositas biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap viskositas biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap viskositas biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.1.3 Analisis Varian Titik Nyala Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap titik nyala biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.8 Titik Nyala Biodiesel (°C)

Variabel		Persentase Metanol			Σ	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	188	180	174	1086	
		192	176	176		
	45	188	177	176	1080	
		188	179	172		
	60	186	176	173	1074	
		190	174	175		
	75	186	174	178	1074	
		188	176	172		
	90	186	179	175	1078	
		184	177	177		
	Σ		1876	1768	1748	5392

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.9 Analisis Varian Dua Arah untuk Titik Nyala Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	56,53	4	14,13	3,11	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	948,27	2	474,13	104,59	3,68
Interaksi faktor A dan B	147,07	8	18,53	4,09	2,64
Galat	68	15	4,53		
Total	1219,87	29			

Dari tabel 4.9 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap titik nyala biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap titik nyala biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap titik nyala biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap titik nyala biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.1.4 Analisis Varian Titik Tuang Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap titik tuang biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.10 Titik Tuang Biodiesel (°C)

Variabel		Persentase Metanol			Σ	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	3	8	7	30	
		-1	6	7		
	45	2	6	8	34	
		0	8	10		
	60	2	9	11	38	
		2	7	7		
	75	3	6	7	36	
		1	10	9		
	90	6	7	10	38	
		4	5	6		
	Σ		22	72	82	176

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.11 Analisis Varian Dua Arah untuk Titik Tuang Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	42,09	4	10,52	3,16	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	206,67	2	103,23	31	3,68
Interaksi faktor A dan B	125,33	8	15,98	4,8	2,64
Galat	50	15	3,33		
Total	424,09	29			

Dari tabel 4.11 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap titik tuang biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap titik tuang biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

3.  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap titik tuang biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap titik tuang biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.1.5 Analisis Varian Nilai Kalor Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap nilai kalor biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.12 Nilai Kalor Biodiesel (kkal/kg)

Variabel		Persentase Metanol			$\Sigma$	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	8625,05	10823,39	10830,55	60631,32	
		8704,19	10822,55	10825,59		
	45	8500,14	9985,53	10255,71	57884,26	
		8517,46	10359,31	10266,11		
	60	8159,23	9636,50	10255,87	148384,95	
		8157,75	9638,77	102536,83		
	75	8750,46	9740,48	9680,66	56350,24	
		8759,08	9736,08	9683,48		
	90	8903,28	10111,46	10678,41	59385,15	
		8905,04	10115,23	10671,73		
	$\Sigma$		85981,68	100969,30	195684,94	382635,92

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.13 Analisis Varian Dua Arah untuk Nilai Kalor Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	40,89	4	10,22	3,6	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	236,57	2	118,286	41,65	3,68
Interaksi faktor A dan B	92,69	8	11,59	4,08	2,64
Galat	42,57	15	2,84		
Total	412,72	29			

Dari tabel 4.13 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap nilai kalor biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap nilai kalor biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
3.  $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap nilai kalor biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap nilai kalor biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

#### 4.2.1.6 Analisis Varian Indeks Setana Biodiesel

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu transesterifikasi, variasi persentase metanol terhadap indeks setana biodiesel yang didapatkan dari transesterifikasi minyak biji alpukat.

Tabel 4.14 Indeks Setana Biodiesel

Variabel		Persentase Metanol			Σ	
		10%	20%	30%		
Waktu Transesterifikasi (menit)	30	41,105	47,321	48,210	271,844	
		39,503	47,615	48,09		
	45	40,544	47,532	49,198	273,466	
		40,654	46,884	48,654		
	60	42,328	48,840	50,186	275,464	
		38,908	47,57	47,632		
	75	40,025	50,089	48,861	274,432	
		41,641	46,287	47,529		
	90	40,256	47,783	48,124	273,339	
		42,046	47,601	47,529		
	Σ		407,01	477,522	484,013	1368,545

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.15 Analisis Varian Dua Arah untuk Indeks Setana Biodiesel

Sumber keragaman	JK	db	KT	Fhitung	Ftabel
Waktu Transesterifikasi (faktor A)	35,92	4	8,98	5,91	3,06
Persentase Metanol (faktor B)	364,78	2	182,39	119,84	3,68
Interaksi faktor A dan B	183,25	8	22,90	15,07	2,64
Galat	22,83	15	1,52		
Total	606,78	29			

Dari tabel 4.15 diatas, dapat diperoleh kesimpulan:

1.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$  maka  $H_0^1$  ditolak dan  $H_1^1$  diterima, ini berarti bahwa waktu transesterifikasi berpengaruh terhadap indeks setana biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.
2.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$  maka  $H_0^2$  ditolak dan  $H_1^2$  diterima, ini berarti bahwa persentase metanol berpengaruh terhadap indeks setana biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

3.  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$  Maka  $H_0^3$  ditolak dan  $H_1^3$  diterima, ini berarti bahwa interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol berpengaruh terhadap indeks setana biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji alpukat.

Dari kesimpulan diatas terlihat bahwa waktu transesterifikasi, persentase metanol dan interaksi antara waktu transesterifikasi dan persentase metanol mempunyai pengaruh yang nyata terhadap indeks setana biodiesel dengan tingkat keyakinan 95%.

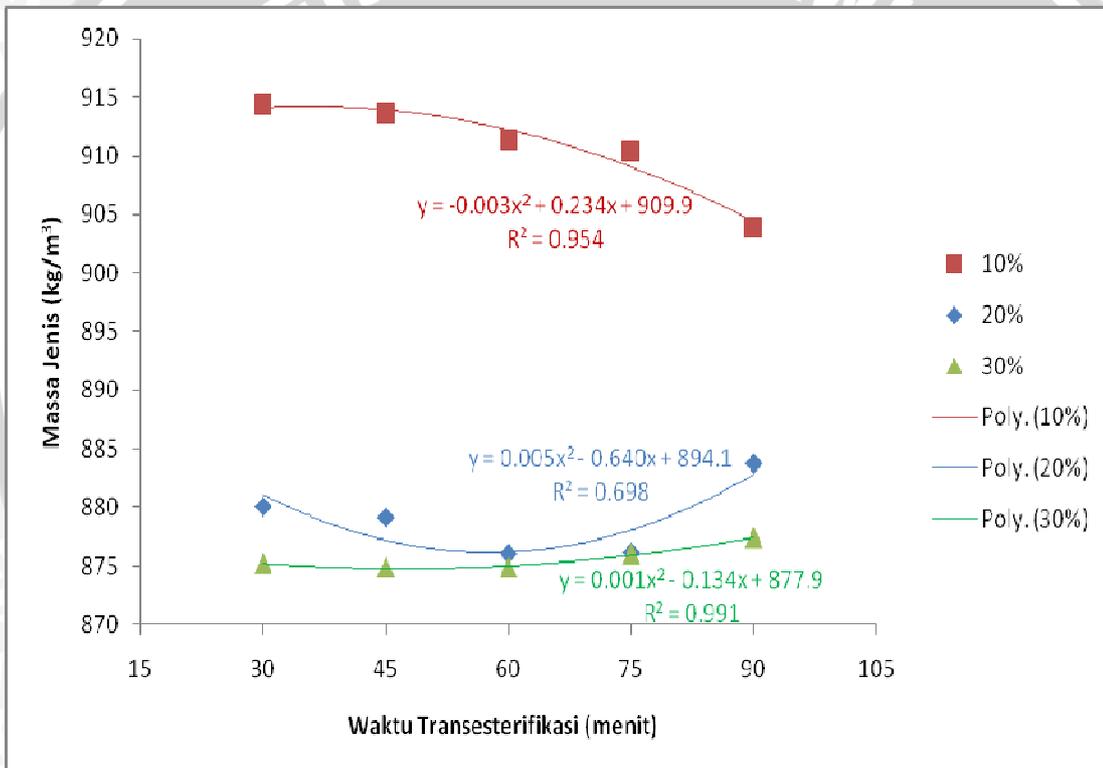
### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap massa jenis biodiesel

Massa jenis (*density*) merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung. Massa jenis menyatakan jumlah massa yang terkandung dalam satu satuan volume ( $\text{kg/m}^3$ ). Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara massa jenis biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa massa jenis biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 30 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar  $914,3 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan massa jenis biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 60 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar  $874,8 \text{ kg/m}^3$ .

Massa jenis biodiesel yang masih tinggi disebabkan oleh waktu transesterifikasi yang terlalu singkat yaitu 30 menit dan persentase metanol yang terlalu sedikit yaitu 10%. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan adanya senyawa trigliserida yang belum bereaksi dengan metanol pada saat proses transesterifikasi minyak biji alpukat. Dengan waktu transesterifikasi 30 menit dan persentase metanol 10% dari volume minyak biji alpukat, metanol belum secara sempurna memecah molekul trigliserida menjadi metil ester karena waktu dan volume yang tersedia bagi metanol untuk memutus ikatan rantai karbon pada trigliserida menjadi digliserida dan monogliserida masih sangat singkat dan kurang sehingga trigliserida masih memiliki rantai karbon yang panjang dan kompleks serta biodiesel yang dihasilkan masih

mengandung banyak gliserol. Dengan semakin panjang rantai karbon, maka bilangan massa relatifnya menjadi lebih tinggi mengakibatkan ikatan antar atom menjadi lebih rapat sehingga massa jenis pada volume tertentu menjadi lebih tinggi. Apabila biodiesel memiliki massa jenis yang tinggi hal ini akan menyebabkan kesulitan dalam proses atomisasi dan penguapan bahan bakar, karena bahan bakar cenderung lebih berat dan pada saat penyemprotan bahan bakar tidak dapat berlangsung lancar sehingga untuk memudahkan proses atomisasi dan penguapan bahan bakar, menurut FBI-SOI-03 diharapkan biodiesel memiliki massa jenis antara 850-890 kg/m<sup>3</sup>.

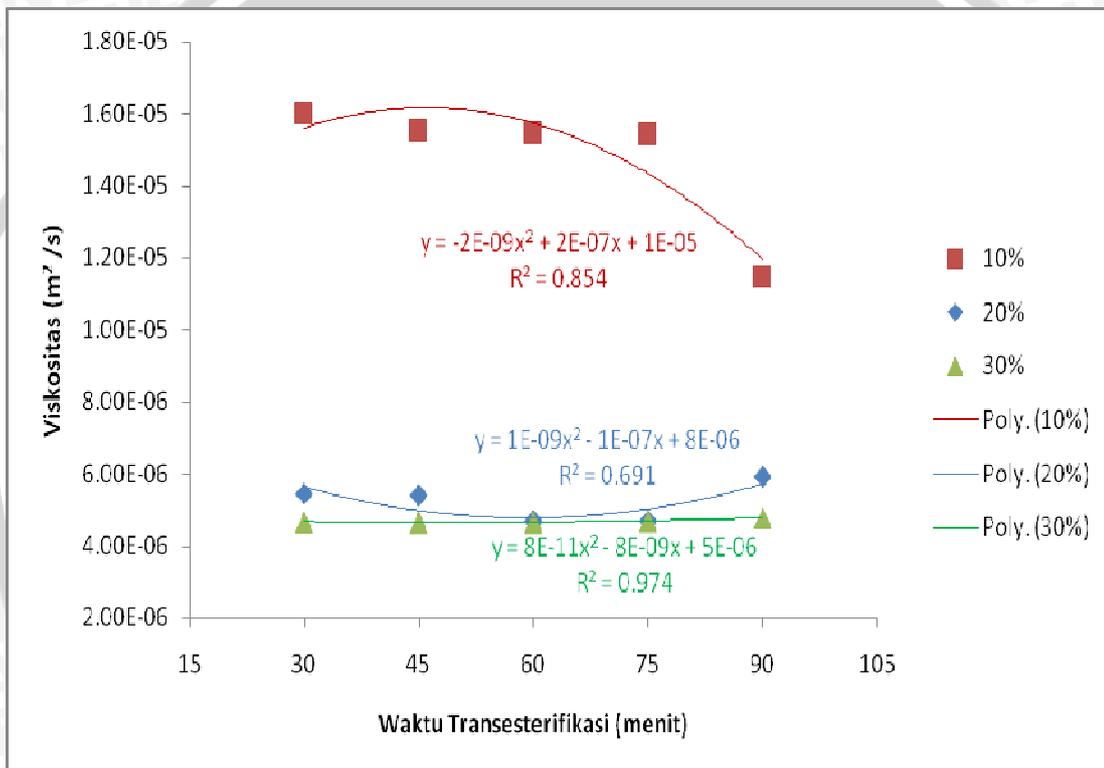


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara massa jenis biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

#### 4.3.2 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap viskositas biodiesel

Viskositas (*viscosity*) merupakan ukuran tingkat kekentalan suatu bahan bakar minyak serta merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang

penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung. Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara viskositas biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa viskositas biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 30 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar  $15,985 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sedangkan viskositas biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 60 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar  $4,643 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara viskositas biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

Viskositas biodiesel yang masih tinggi disebabkan oleh waktu transesterifikasi yang terlalu singkat yaitu 30 menit dan persentase metanol yang terlalu sedikit yaitu 10%. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan adanya senyawa trigliserida yang belum bereaksi dengan metanol pada saat proses transesterifikasi minyak biji alpukat. Senyawa trigliserida adalah senyawa yang memiliki kerapatan

tinggi sehingga memiliki tegangan geser yang besar. Minyak biji alpukat yang proses transesterifikasinya kurang sempurna memiliki tegangan geser yang besar sehingga viskositasnya masih tinggi. Apabila biodiesel memiliki viskositas yang tinggi hal ini akan menyebabkan kesulitan dalam proses atomisasi dan penguapan bahan bakar, karena bahan bakar cenderung lebih kental dan pada saat penyemprotan bahan bakar tidak dapat berlangsung lancar. Selain itu, viskositas yang tinggi juga mempengaruhi ukuran *droplet*, dengan viskositas yang tinggi membutuhkan ukuran *droplet* yang besar maka proses pencampuran udara dan bahan bakar kurang optimal. Sehingga untuk memudahkan proses atomisasi dan penguapan bahan bakar serta mendapatkan ukuran *droplet* yang lebih kecil, menurut SNI 04-7182-2006 diharapkan biodiesel memiliki viskositas antara  $2,3 \cdot 10^{-6} - 6,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

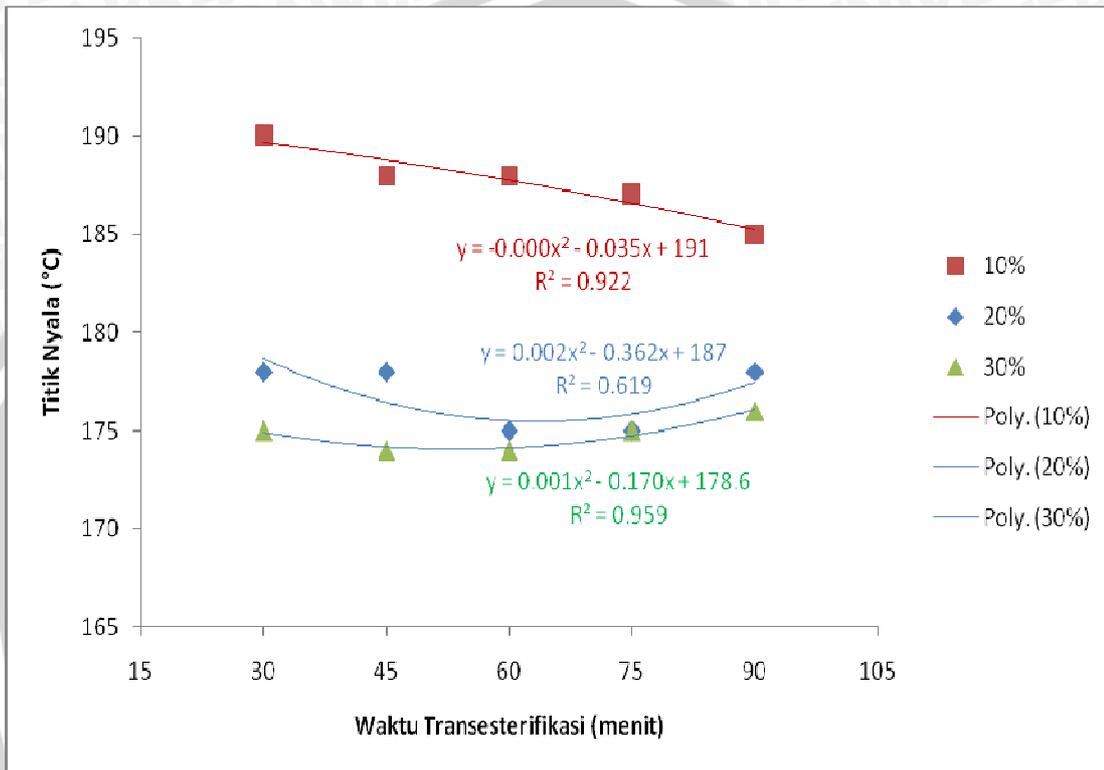
#### 4.3.3 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap titik nyala biodiesel

Titik nyala (*flash point*) merupakan temperatur terendah pada saat bahan bakar dalam campurannya dengan udara dapat menyala serta merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung. Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara titik nyala biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa titik nyala biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 30 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar  $190^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan titik nyala biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 45 dan 60 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar  $174^{\circ}\text{C}$ .

Titik nyala biodiesel yang cenderung tinggi disebabkan masih terdapatnya ikatan trigliserida yang belum bereaksi dengan metanol pada saat proses transesterifikasi minyak biji alpukat sehingga pada saat dilakukan proses pembakaran, biodiesel membutuhkan panas yang lebih besar untuk memutuskan ikatannya dan menghasilkan titik nyala pada suhu yang cenderung tinggi.

Titik nyala yang terlampaui tinggi dapat menyebabkan keterlambatan penyalaan, sementara apabila titik nyala terlampaui rendah akan menyebabkan

timbulnya ledakan – ledakan yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ruang bakar (detonasi). Sehingga menurut SNI 04-7182-2007, diharapkan biodiesel memiliki titik nyala minimal 100°C.

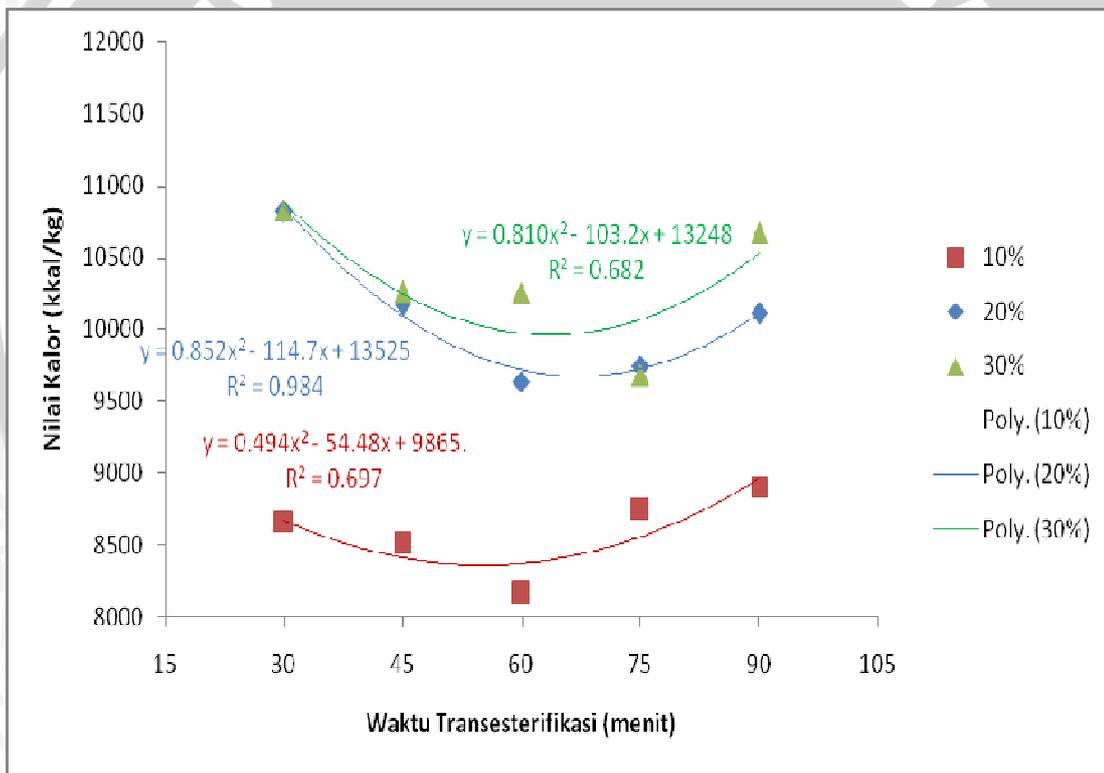


Gambar 4.3 Grafik hubungan antara titik nyala biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

#### 4.3.4 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap nilai kalor biodiesel

Nilai kalor (*heating value*) merupakan suatu sifat yang menunjukkan jumlah energi panas yang terkandung dalam suatu massa atau volume bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna serta merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung serta perhitungan lebih lanjut. Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara nilai kalor biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai

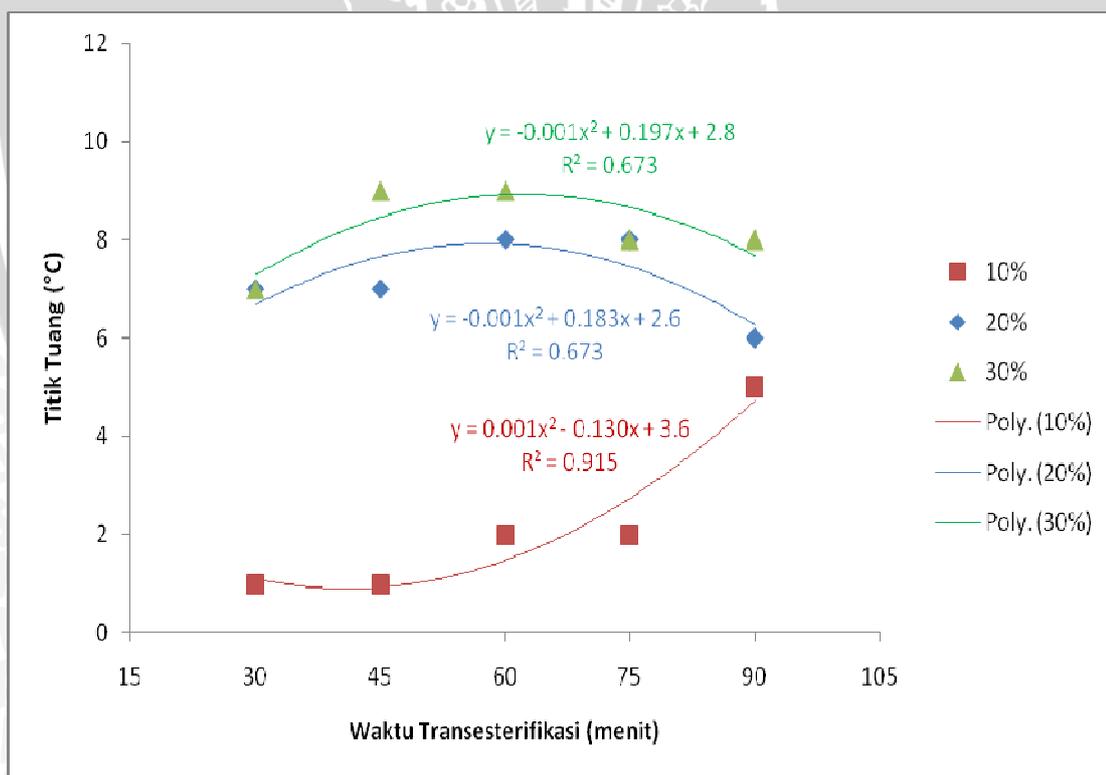
kalor biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 30 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar 10828,07 kkal/kg. Sedangkan nilai kalor biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 60 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar 8158,49 kkal/kg. Nilai kalor cenderung rendah disebabkan oleh energi aktivasi yang dilepaskan untuk memutus ikatan kimia reaktan yang masih mengandung trigliserida dengan rantai karbon panjang dan kompleks agar terbakar memiliki nilai yang besar sedangkan energi yang dilepas oleh pembentukan ikatan kimia di dalam produk memiliki nilai hampir sama untuk semua variasi. Sehingga selisih keduanya akan menghasilkan nilai kalor yang cenderung rendah.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara nilai kalor biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

### 4.3.5 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap titik tuang biodiesel

Titik tuang (*pour point*) merupakan suhu terendah dari bahan bakar minyak yang mana bahan bakar tersebut masih dapat mengalir apabila didinginkan pada kondisi tertentu karena gaya gravitasi serta merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung. Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara titik tuang biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa titik tuang biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 45 dan 60 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar 9°C. Sedangkan titik tuang biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 30 dan 45 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar 1°C.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara titik tuang biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

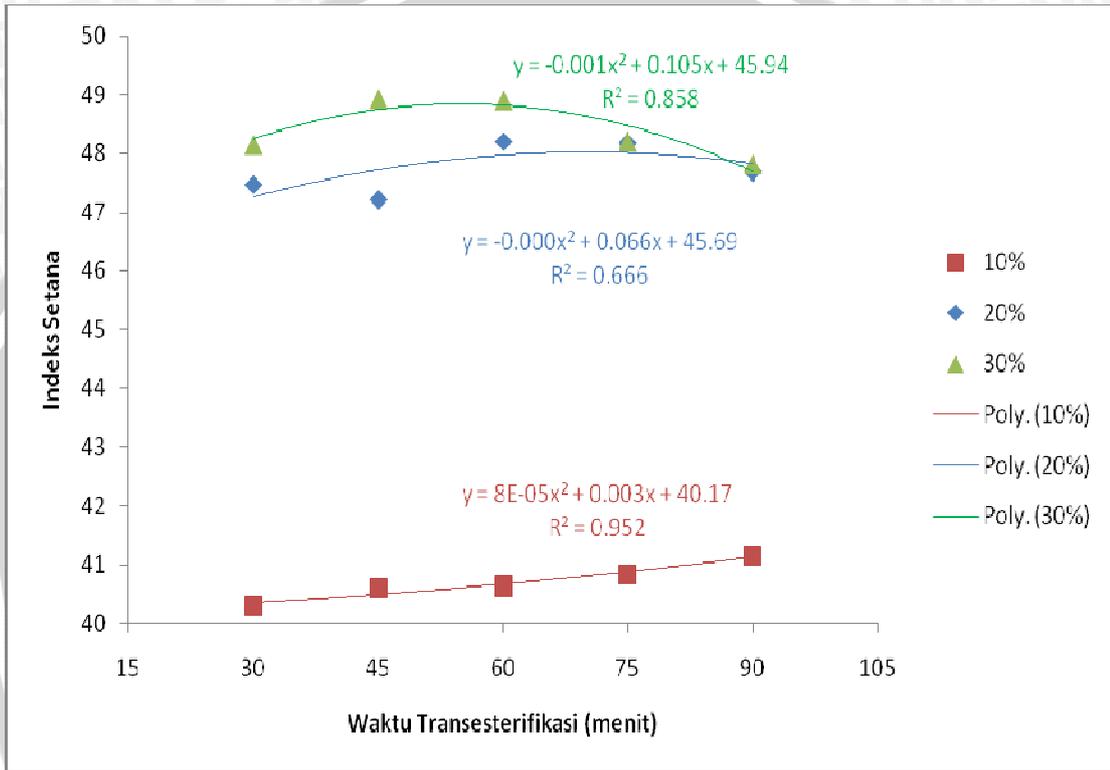
Titik tuang biodiesel yang cenderung rendah disebabkan oleh masih adanya senyawa trigliserida yang belum bereaksi dengan metanol pada saat proses transesterifikasi minyak biji alpukat sehingga trigliserida masih memiliki rantai karbon yang panjang dan kompleks serta biodiesel yang dihasilkan masih mengandung banyak gliserol. Dengan semakin panjang rantai karbon, maka bilangan massa relatifnya menjadi lebih tinggi mengakibatkan ikatan antar atom menjadi lebih rapat sehingga massa jenis menjadi lebih tinggi. Hal ini membuat waktu yang dibutuhkan untuk merubah biodiesel dari cair ke beku menjadi lama dan menghasilkan titik beku yang rendah, sehingga titik tuang yang dihasilkan juga rendah.

Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak, dikarenakan bahan bakar sering sulit dipompa apabila suhunya telah dibawah titik tuang. Titik tuang juga penting untuk keperluan pada saat penyimpanan. Sehingga menurut ASTM D 97, diharapkan biodiesel memiliki titik tuang  $< 18^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.3.6 Grafik hubungan waktu transesterifikasi terhadap indeks setana biodiesel**

Indeks setana merupakan suatu parameter mutu penyalaan pada bahan bakar mesin diesel selain angka setana, dimana mutu penyalaan dapat diartikan sebagai waktu yang diperlukan bahan bakar untuk dapat menyala di ruang pembakaran dan diukur setelah penyalaan terjadi serta merupakan salah satu sifat fisik biodiesel dari minyak biji alpukat yang penentuannya dilakukan dengan pengujian langsung serta perhitungan lebih lanjut. Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara indeks setana biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol sebesar 10%, 20% dan 30%. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa indeks setana biodiesel tertinggi didapatkan dari waktu transesterifikasi 45 menit dengan persentase metanol 30% yaitu sebesar 48,926. Sedangkan indeks setana biodiesel terendah didapatkan dari waktu transesterifikasi 90 menit dengan persentase metanol 10% yaitu sebesar 40,151. Dari grafik dapat diketahui bahwa indeks setana berkorelasi negatif dengan titik nyalanya, artinya pada titik nyala yang tinggi maka

indeks setananya rendah. Hal ini disebabkan pada titik nyala yang tinggi akan memerlukan waktu yang lama bagi bahan bakar untuk dapat terbakar setelah terjadi penyalaan. Sehingga menurut ASTM D 6751-02, diharapkan biodiesel memiliki indeks setana minimal 47.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara indeks setana biodiesel dan waktu transesterifikasi minyak biji alpukat dengan variasi persentase metanol

#### 4.3.7 Perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar

Tabel 4.16 Data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 10% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006)

Bahan	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Titik nyala (°C)	Nilai kalor (kkal/kg)	Titik tuang (°C)	Indeks setana
Standar Metil Ester	850 - 890	(2,3 – 6,0).10 <sup>-6</sup>	min 100	10892	maks 18	min 48
Standar Solar	815 - 870	(2,0 – 5,0).10 <sup>-6</sup>	min 100	10423	maks 18	min 45
Biodiesel (30 menit)	914,3	15,985.10 <sup>-6</sup>	190	8664,62	1	40,304
Biodiesel (45 menit)	913,6	15,510.10 <sup>-6</sup>	188	8508,80	1	40,599
Biodiesel (60 menit)	911,3	15,445.10 <sup>-6</sup>	188	8158,49	2	40,618
Biodiesel (75 menit)	910,4	15,390.10 <sup>-6</sup>	187	8754,77	2	40,833
Biodiesel (90 menit)	903,8	11,480.10 <sup>-6</sup>	185	8904,16	5	41,151

Tabel 4.16 menunjukkan data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 10% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa massa jenis, viskositas dan indeks setana biodiesel minyak biji alpukat tidak masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel) dan solar. Akan tetapi untuk titik nyala dan titik tuang biodiesel minyak biji alpukat masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel) dan solar. Untuk nilai kalor biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 10%, rata-rata memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai kalor standar metil ester (biodiesel) dan solar.

Berdasarkan pembahasan tersebut dapat diketahui bahwa biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 10% tidak sesuai dengan standar metil ester

(biodiesel) karena massa jenis, viskositas dan indeks setana tidak masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel) sehingga biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 10% tidak layak untuk dijadikan bahan bakar biodiesel dan tidak layak untuk dicampur dengan solar menjadi biosolar.

Tabel 4.17 Data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006)

Bahan	Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	Viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	Nilai kalor ( $\text{kkal/kg}$ )	Titik tuang ( $^{\circ}\text{C}$ )	Indeks setana
Standar Metil Ester	850 - 890	$(2,3 - 6,0) \cdot 10^{-6}$	min 100	10892	maks 18	min 48
Standar Solar	815 - 870	$(2,0 - 5,0) \cdot 10^{-6}$	min 100	10423	maks 18	min 45
Biodiesel (30 menit)	880,1	$5,451 \cdot 10^{-6}$	178	10822,97	7	47,468
Biodiesel (45 menit)	879,2	$5,382 \cdot 10^{-6}$	178	10172,42	7	47,208
Biodiesel (60 menit)	876	$4,679 \cdot 10^{-6}$	175	9637,65	8	48,205
Biodiesel (75 menit)	876,2	$4,698 \cdot 10^{-6}$	175	9738,28	8	48,188
Biodiesel (90 menit)	883,8	$5,902 \cdot 10^{-6}$	178	10113,34	6	47,692

Tabel 4.17 menunjukkan data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa massa jenis biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel), akan tetapi tidak masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar solar. Untuk viskositas, biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel), akan tetapi hanya biodiesel minyak biji alpukat 60 menit dan 75 menit yang masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar solar. Untuk titik nyala dan titik tuang, biodiesel minyak

biji alpukat pada persentase metanol 20% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel) dan solar. Untuk indeks setana, biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar solar, akan tetapi hanya biodiesel minyak biji alpukat 60 menit dan 75 menit yang masuk kedalam nilai diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel). Untuk nilai kalor biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20%, rata-rata memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai kalor standar metil ester (biodiesel) dan solar. Akan tetapi biodiesel minyak biji alpukat 30 menit memiliki harga nilai kalor yang mendekati nilai kalor standar metil ester (biodiesel) dan lebih besar daripada nilai kalor standar solar.

Berdasarkan pembahasan tersebut dapat diketahui bahwa biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 20%, hanya biodiesel minyak biji alpukat 60 menit dan 75 menit yang sesuai dengan standar metil ester (biodiesel) sehingga biodiesel minyak biji alpukat tersebut layak untuk dijadikan bahan bakar biodiesel dan layak untuk dicampur dengan solar menjadi biosolar.

Tabel 4.18 Data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006)

Bahan	Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Titik nyala (°C)	Nilai kalor (kkal/kg)	Titik tuang (°C)	Indeks setana
Standar Metil Ester	850 - 890	(2,3 – 6,0).10 <sup>-6</sup>	min 100	10892	maks 18	min 48
Standar Solar	815 - 870	(2,0 – 5,0).10 <sup>-6</sup>	min 100	10423	maks 18	min 45
Biodiesel (30 menit)	875,2	4,655.10 <sup>-6</sup>	175	10828,07	7	48,150
Biodiesel (45 menit)	874,9	4,644.10 <sup>-6</sup>	174	10260,91	9	48,926
Biodiesel (60 menit)	874,8	4,643.10 <sup>-6</sup>	174	10254,85	9	48,909
Biodiesel (75 menit)	876	4,679.10 <sup>-6</sup>	175	9682,07	8	48,195
Biodiesel (90 menit)	877,4	4,784.10 <sup>-6</sup>	176	10675,41	8	47,813

Tabel 4.18 menunjukkan data perbandingan sifat fisik biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% dengan standar metil ester (biodiesel) dan solar (Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, No 3675/ K/ 24/ DJM/ 2006). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa massa jenis biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel), akan tetapi tidak masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar solar. Untuk viskositas, biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel dan solar. Untuk titik nyala dan titik tuang, biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel) dan solar. Untuk indeks setana, biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30% masuk kedalam nilai yang diijinkan oleh standar solar, akan tetapi hanya biodiesel minyak biji alpukat 90 menit yang tidak masuk kedalam nilai diijinkan oleh standar metil ester (biodiesel). Untuk nilai kalor, biodiesel minyak biji alpukat 45 menit, 60 menit dan 75 menit memiliki nilai yang lebih kecil daripada nilai kalor standar metil ester (biodiesel) dan solar. Akan tetapi biodiesel minyak biji alpukat 30 menit dan 90 menit memiliki harga nilai kalor yang mendekati nilai kalor standar metil ester (biodiesel) dan lebih besar daripada nilai kalor standar solar.

Berdasarkan pembahasan tersebut dapat diketahui bahwa biodiesel minyak biji alpukat pada persentase metanol 30%, dan variasi waktu transesterifikasi 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit sesuai dengan standar metil ester (biodiesel) sehingga biodiesel minyak biji alpukat tersebut layak untuk dijadikan bahan bakar biodiesel dan layak untuk dicampur dengan solar menjadi biosolar.