

# PEMBUATAN DAN PENGUJIAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK PAGAR DENGAN PENAMBAHAN $Mg(OH)_2$ , $Ca(OH)_2$ DAN $Ba(OH)_2$ SEBAGAI KATALIS DAN ADITIF

Nama Mahasiswa : Dini Kurniawati  
NRP : 2311 201 001  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

## ABSTRAK

*Biodiesel merupakan bioenergi atau bahan bakar alternative yang dapat dibuat dari minyak nabati dan lemak melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi – transesterifikasi. Jarak pagar adalah salah satu contoh tanaman yang dapat dikonversi menjadi biodiesel. Dewasa ini proses pembuatan biodiesel sangat beragam, penelitian-penelitian dilakukan agar bisa menghasilkan biodiesel dengan efektifitas yang tinggi serta produk terbaik. Penambahan katalis merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan efektifitas biodiesel. Bahan aditif berupa  $Ca(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  dimaksudkan dapat meningkatkan sifat fisik dari biodiesel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi katalis  $Ca(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  dalam meningkatkan kualitas biodiesel dari minyak jarak pagar dengan proses transesterifikasi, mempelajari pengaruh aditif yang dapat meningkatkan kualitas biodiesel dan mempelajari kinerja mesin diesel dengan menggunakan biodiesel dari minyak jarak pagar yang menggunakan aditif tersebut. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh Viskositas yang diperoleh dari penelitian ini adalah 9,2737 cSt untuk katalis  $Mg(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$ , 9,0758 cSt untuk katalis  $Ca(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$  dan 7,1059 cSt untuk katalis  $Ba(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$ . Yield yang diperoleh pada katalis  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  relatif rendah, yaitu 61,75% untuk katalis  $Mg(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$ , 62,66% untuk katalis  $Ca(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$  dan 73,03%, untuk katalis  $Ba(OH)_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ C$ . SFC semakin meningkat dengan peningkatan jumlah biodiesel yang ditambahkan/diblending pada solar SFC untuk masing – masing katalis semakin meningkat dari 0,0580 hingga 0,0706 jika dibandingkan dengan solar yang hanya 0,0543. SFC yang dibutuhkan dengan menggunakan katalis  $Ba(OH)_2$ , yaitu sebesar 0,0640 sedangkan pada katalis  $Mg(OH)_2$  dan  $Ca(OH)_2$  berturut – turut adalah 0,0706 dan 0,0681. Selain itu pada daya terbesar yaitu 5,861, katalis  $Mg(OH)_2$  dan  $Ca(OH)_2$  tidak mampu menghidupkan mesin. Kadar  $CO$  dan  $CO_2$  untuk katalis  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  pada biodiesel cenderung semakin menurun sekitar 10%. Sehingga kadar  $O_2$  mengalami peningkatan sekitar 10% terjadi pada biodiesel dengan kadar 10% khususnya pada katalis  $Ba(OH)_2$ .*

**Kata kunci : minyak jarak, biodiesel, bahan aditif, transesterifikasi**

# PRODUCTION AND ENGINE PERFORMANCE OF BIODIESEL FROM JATROPHA CURCAS OIL WITH $Mg(OH)_2$ , $Ca(OH)_2$ AND $Ba(OH)_2$ AS SOLID BASE CATALYSTS AND ADDITIVE

By : Dini Kurniawati  
Student Identity Number : 2311 201 001  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA

## ABSTRACT

*As an alternative renewable fuel, Biodiesel (fatty acid methyl ester) was made from cooking oil, non – edible oil and fat through transesterification, esterification or both of them. Jatropha curcas oil was one of the plants that could be converted for methyl ester. These research were done to form biodiesel with high performance. Addition of catalyst was an alternative to increase biodiesel effectivity. This research investigated the potential of  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  as solid base catalysts on transesterification processes, studied the influence of additives which improved the quality biodiesel and performance of diesel engines by using these biodiesel. Firstly, Jatropha curcas oil were degumming with 0,1 % wt. concentration of phosphoric acid then tansesterification process was held. The variables chosen were reaction temperature (30 – 70°C), catalysts concentration (1, 2, 4, 6, 8 %w/w ) and solar blending (B0, B5, B10, B20, B100). This case was done during 6 hours, the molar ratio of methanol/oil was 6:1, atmosferis, engine speed about 1200 rpm and engine load was 1050 watt. The simple way to determine content of methyl ester could be approached by density and viscosity parameters in the end of transesterification process. The content of methyl ester was higher by using 8% (w/w)  $Ba(OH)_2$  as catalyst and molar ratio of methanol/oil was 6:1 at 60°C about 73,03%, then 62,66% by using 8% (w/w)  $Ca(OH)_2$  and 61,75% by using (w/w)  $Mg(OH)_2$  with the same condition. To know the quality of biodiesel in diesel engine, methyl ester was blended by solar and tested on diesel engine. The SFC of fuel increased. The catalysts performance were seen that  $Ba(OH)_2$  the more efficient than the other. The SFC was lower than the other about 0,0640 lt/Kwh at B10. At B10 the CO and  $CO_2$  contents could be decreased about 10% so the  $O_2$  content increased about 10% especially blended methyl ester by using  $Ba(OH)_2$  as catalyst.*

**Keywords :** *Jatropha curcas oil, biodiesel, additive, transesterification, catalyst*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jarak Pagar

Jarak pagar (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae) merupakan tumbuhan semak berkayu yang banyak ditemukan di daerah tropik. Tumbuhan ini dikenal sangat tahan kekeringan dan mudah diperbanyak dengan stek. Walaupun telah lama dikenal sebagai bahan pengobatan dan racun, saat ini ia makin mendapat perhatian sebagai sumber bahan bakar hayati untuk mesin diesel karena kandungan minyak bijinya. Peran yang agak serupa sudah lama dimainkan oleh kerabatnya, jarak pohon (*Ricinus communis*), yang bijinya menghasilkan minyak untuk pelumas.

Tumbuhan ini dikenal dengan berbagai nama di Indonesia: *jarak kosta*, *jarak budeg* (Sunda); *jarak gundul*, *jarak pager* (Jawa); *kalekhe paghar* (Madura); *jarak pager* (Bali); *lulu mau*, *paku kase*, *jarak pageh* (Nusa Tenggara); *kuman nema* (Alor); *jarak kosta*, *jarak wolanda*, *bindalo*, *bintalo*, *tondo utomene* (Sulawesi); *ai huwa kamala*, *balacai*, *kadoto* (Maluku). Jarak pagar dipandang menarik sebagai sumber biodiesel karena kandungan minyaknya yang tinggi, tidak berkompetisi untuk pemanfaatan lain (misalnya jika dibandingkan dengan kelapa sawit atau tebu), dan memiliki karakteristik agronomi yang sangat menarik. (Anonim, 2012a)

Tanaman jarak pagar termasuk famili Euphorbiaceae, satu famili dengan karet dan ubi kayu. Klasifikasi tanaman jarak pagar adalah sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledone
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Jatropha</i>
Species	: <i>Jatropha curcas</i> L. (Mahmud, Z., dkk., 2009)



(a) (b)

Gambar 2.1. (a) Tanaman jarak pagar, (b) Biji jarak pagar

Tumbuhan ini diintroduksi ke Indonesia oleh administrasi pendudukan Jepang dengan maksud sebagai sumber bahan bakar murah. Minyak dari bijinya dapat diolah menjadi biodiesel. Seusai kemerdekaan, pemanfaatannya terbengkalai. Kandungan minyak bijinya dapat mencapai 63%, melebihi kandungan minyak biji kedelai (18%), *linseed* (33%), rapa (45%), bunga matahari (40%) atau inti sawit (45%). Minyaknya didominasi oleh asam oleat (44.7%) dan asam linoleat (32.8%) sementara asam palmitat (14.2%) dan asam stearat (7%) adalah tipe asam lemak jenuhnya. (Anonim, 2012)

Secara umum minyak nabati atau minyak jarak pagar terdiri atas asam monokarboksil jenuh dan tak jenuh dengan trigliserida, sebagaimana tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Minyak Jarak Pagar (Jain dan Sharma, 2010; Pinzi, dkk., 2009)

Fatty acid	Systemic name	Structure	Composition (%)
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	C16	13,4 – 15,3
Stearic acid	Octadecanoic acid	C18	6,4 – 6,6
Oleic acid	Cis-9-octadecanoic acid	C18.1	36,5 – 41
Linoleic acid	Cis-9-cis-12-octadecanoic acid	C18.2	35,3 – 42,1
Other acids			0,8

Pemanfaatan dan diversifikasi produk jarak pagar yang umum meliputi hal – hal sebagai berikut:

- a. Pemanfaatan minyak kasar untuk pengganti minyak tanah
- b. Pemanfaatan kulit buah untuk kompos

- c. Pemanfaatan bungkil untuk BBN padat atau briket
- d. Pemanfaatan bungkil untuk BBN gas atau biogas
- e. Pembuatan biodiesel dari minyak jarak pagar
- f. Pemanfaatan minyak untuk biopestisida
- g. Pemanfaatan hasil samping biodiesel (gliserol) untuk pembuatan sabun.

Minyak jarak pagar diperoleh dengan melakukan pengepresan pada biji jarak pagar (*Jatropha curcas*). Hasil pemerasan atau pengepresan biji jarak pagar adalah berupa minyak nabati, atau para ahli seringkali menyebutnya sebagai minyak lemak nabati. Minyak nabati inilah yang biasanya diolah kembali menjadi biodiesel, dengan cara transesterifikasi maupun esterifikasi.

Semua bahan bakar nabati, yaitu bahan bakar yang berasal dari minyak nabati. Oleh karena itu bahan bakar nabati (BBN) dapat berupa biodiesel, bioethanol, biooil (minyak nabati murni). Pemilihan tanaman penghasil BBN dilihat dari nilai bakar hasil minyaknya yang parameteranya dapat berupa: titik bakar, kekentalan, nilai kalori dan lainnya, sebagaimana tersaji dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil (Lide dan Frederikse, 1995, dalam Prastowo, dkk., 2009)

Jenis minyak	Titik Bakar (°C)	Kekentalan (m <sup>2</sup> /s)	Angka Iodine	Saponification value	Nilai Kalori (MJ/Kg)
Jarak Pagar	340	75,7	103,0	198,0	39,65
Kelapa	270 – 300	51,9	10,4	268,0	37,54
Kelapa Sawit	314	88,6	54,2	199,1	39,54
Rapeseed	317	97,7	98,6	174,7	40,56
Bunga Matahari	316	65,8	132,0	190,0	39,81
Minyak Tanah	50 – 55	2,2	-	-	43,50
Minyak Solar	55	2 – 8	-	-	45,00

Selain nilai bakar minyak tersebut, pemilihan tanaman penghasil BBN juga atas pertimbangan penggunaan sehari – hari hasil tanaman tersebut, antara lain pilihan antara untuk pangan atau pakan dan lainnya. Berdasarkan hal ini maka BBN asal jarak pagar memiliki beberapa kelebihan. Keuntungan yang dimiliki jarak pagar dibandingkan dengan tanaman lainnya karena tanaman ini hanya memiliki sedikit fungsi lain dan terbatas, sehingga persaingan penggunaannya juga terbatas. Berbeda dengan tanaman lainnya seperti kelapa sawit, ubi kayu,

sorgum dan kelapa, memiliki fungsi lain yang sangat penting yaitu sebagai bahan pangan. Kenaikan permintaan pangan akan meningkatkan harga jenis tanaman tersebut, akibatnya harga komoditi tersebut sebagai sumber BBN juga akan semakin mahal. Hal ini tidak dialami tanaman jarak pagar, oleh karena itu prioritas pengembangannya cukup baik. (Prastowo, dkk., 2009)

## 2.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang diproduksi dari minyak nabati, lemak hewani atau minyak goreng bekas melalui reaksi transesterifikasi (Lu, dkk., 2009; Krishnamurthy dan Viswanathan., 2013). Minyak nabati atau lemak hewani biasanya diekstrak atau dipress untuk menghasilkan minyak dan lemak. Minyak dan lemak tersebut biasanya mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* – FFA), fosfolipida, sterol, air dan impuritas lainnya. Lemak dan minyak yang sudah dimurnikan mengandung asam lemak bebas dan air dalam jumlah sedikit. Meskipun dalam jumlah yang sedikit, dua hal tersebut memberikan efek yang sangat signifikan dalam reaksi transesterifikasi dengan alkohol baik dengan katalis asam ataupun basa (Ma dan Hanna, 1999).

Secara khusus, *fatty acid methyl esters* (FAME), juga disebut 'biodiesel', telah menjadi biofuel yang paling cocok untuk mesin diesel, karena memiliki sifat bahan bakar yang sangat mirip dengan bahan bakar fosil dan dapat digunakan tanpa melakukan perubahan pada mesin. Sehingga penerimaan produsen mesin dan industri minyak mineral sangat tinggi. Alasan lainnya adalah teknologi proses yang relatif mudah, yang dapat dilakukan pada skala laboratorium maupun skala industri (Mittelbach, 2009).

Menurut Prastowo, dkk (2009), biodiesel merupakan bentuk ester dari minyak nabati setelah adanya perubahan sifat kimia karena proses transesterifikasi yang memerlukan tambahan methanol. Biodiesel juga didefinisikan sebagai bahan bakar yang berasal dari minyak atau lemak dengan menggunakan reaksi transesterifikasi dimana gliserol adalah produk sampingnya. Komponen utama dari bahan bakar biodiesel adalah rantai lurus asam lemak, dimana yang paling umum adalah mengandung C16 dan C18. Namun, beberapa bahan baku

mengandung sejumlah besar asam lemak selain C16 dan C18. Bahan baku tersebut termasuk minyak tropis (misalnya, minyak kelapa) diperkaya rantai pendek asam seperti asam laurat (Knothe, 2010).

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang saat ini dapat diterima sebagai bahan bakar pada mesin diesel dalam kaitannya dengan masalah teknis, lingkungan dan manfaatnya. Biodiesel sangat ramah lingkungan, mengurangi tingkat racun dan meningkatkan pelumasan jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel yang konvensional. Selain itu, biodiesel juga dapat larut dalam bahan bakar diesel, sehingga diijinkan untuk usaha pencampuran dari kedua bahan bakar tersebut dalam berbagai bagian. (Benjumea, dkk., 2008)

Biodiesel yang dihasilkan harus disesuaikan dengan standar yang ada. Standar yang digunakan di Indonesia adalah standar yang dikeluarkan SNI. Sebagaimana tertera pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Syarat Mutu Biodiesel Ester Alkil Sesuai SNI 04-7182-2006 (Anonim, 2011)

NO	PARAMETER	SATUAN	NILAI
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m <sup>3</sup>	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka Setana		Min. 51
4	Titik Nyala	°C	Min. 100
5	Titik Kabut	°C	Maks. 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		Maks no. 3
7	Residu karbon	% - massa	
	- Dalam contoh asli, atau		Maks. 0,05
	- Dalam 10% ampas distilasi		Maks 0,03
8	Air dan sedimen	% - vol	Maks. 0,05*
9	Temperatur distilasi 90%	°C	Maks. 360
10	Abu tersulfatkan	% - massa	Maks. 0,02
11	Belerang	ppm – m (mg/kg)	Maks. 100
12	Fosfor	ppm – m (mg/kg)	Maks. 10
13	Angka asam	mg-KOH/g	Maks. 0,8
14	Gliserol bebas	% - massa	Maks. 0,02
15	Gliserol total	% - massa	Maks. 0,24
16	Kadar ester alkil	% - massa	Min. 96,5
17	Angka iodium	% - massa	Maks. 115
		(g-I <sub>2</sub> /100 g)	
18	Uji Halphen		Negatif

Biodiesel paling sering dicampur dengan minyak diesel konvensional; dengan rasio 2% (B2), 5% (B5), atau 20% (B20). Biodiesel juga dapat digunakan sebagai biodiesel murni (B100). Campuran 20% biodiesel dengan 80% solar

minyak bumi dikenal sebagai B20. Campuran biodiesel tingkat rendah seperti B2 dan B5 merupakan bahan bakar populer di industri truk pengangkut karena biodiesel memiliki sifat pelumas yang sangat baik, dan karena itu penggunaan campuran ini dapat bermanfaat bagi kinerja mesin. Biodiesel murni (sering disebut B100) dan biodiesel campuran sensitif terhadap cuaca dingin dan mungkin memerlukan zat anti-beku, sama seperti minyak bumi berbasis bahan bakar diesel. Biodiesel bertindak seperti deterjen aditif yang melonggarkan dan melarutkan endapan dalam tangki penyimpanan. Karena biodiesel bersifat pelarut, B100 dapat menyebabkan masalah pada komponen karet dan lainnya di kendaraan yang lebih tua. Masalah ini tidak terjadi pada biodiesel campuran (Anonim, 2013d).

## 2.3 Karakteristik Biodiesel

### 2.3.1 Viskositas Kinematik

Viskositas,  $\mu$ , merupakan ukuran ketahanan fluida terhadap aliran. Fluida berviskositas rendah akan mengalir lebih cepat dan lebih bebas daripada fluida kental. Jika hanya disebutkan viskositas, besaran tersebut biasanya merujuk kepada viskositas dinamik. Istilah lain yang sering digunakan adalah viskositas kinematik  $\nu$  yang merupakan viskositas dinamik dibagi dengan densitas fluida, sebagaimana pada Persamaan 2.1.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.1)$$

Viskositas kinematik merupakan parameter yang penting pada kasus dimana gaya *viscous* dan gravitasi sangat penting. Satuan yang mewakili untuk viskositas adalah kg/(m.s), g/(m.s) (juga dikenal sebagai poise yang disimbolkan dengan P). Centipoise (cP), seperseratus poise, juga merupakan satuan yang sering digunakan karena viskositas air pada suhu ruang kira-kira 1 centipoise.

Viskositas sangat tergantung pada suhu, tetapi pada umumnya tidak tergantung tekanan. Viskositas zat cair menjadi kecil jika suhu naik. Sebaliknya, viskositas gas semakin besar jika suhu naik. Viskositas zat cair pada umumnya dua tingkat lebih besar daripada viskositas gas pada tekanan atmosfer. Sebagai contoh, pada 25°C,  $\mu_{\text{air}} = 1$  centipoise dan  $\mu_{\text{udara}} = 1 \times 10^{-2}$  centipoise (Altway, dkk, 2011).

Menurut Alptekin dan Canacki (2008), viskositas kinematik ditentukan pada suhu 40°C dengan mengalikan konstanta tabung viskosimeter (C) dan waktu (t) dimana waktu digunakan pada volume *liquid* yang mengalir berdasarkan gaya gravitasi melalui pipa kapiler pada tabung viskosimeter. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 2.2 berikut ini.

$$\nu = t \cdot C \quad (2.2)$$

### 2.3.2 Densitas

Densitas masa, atau lebih singkat densitas, didefinisikan sebagai massa per satuan volume fluida yang bisa dinyatakan seperti Persamaan 2.3 berikut ini.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.3)$$

Dimana  $\rho$  adalah densitas, m adalah massa fluida dan V volume fluida. Volume spesifik adalah kebalikan dari densitas, dan didefinisikan sebagai volume per satuan masa fluida, yang bisa dituliskan seperti Persamaan 2.4 berikut ini.

$$\nu = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \quad (2.4)$$

Untuk gas, perhitungan hanya bisa dilakukan pada kondisi (suhu, tekanan, volume) dimana gas berada. Pertama, densitas sesungguhnya dihitung dari hukum gas ideal kemudian densitas gas pada STP (Altway, dkk, 2011).

### 2.3.3 Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku/*furnace oil* adalah 66 °C (Anonim, 2013a). Titik nyala dapat diukur dengan jalan melewati nyala api pada pelumas yang dipanaskan secara teratur. Titik nyala merupakan sifat pelumas yang digunakan untuk prosedur penyimpanan agar aman dari bahaya kebakaran. Semakin tinggi titik nyala suatu pelumas berarti semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan. Metode standar untuk pengukuran titik nyala adalah ASTM D – 92 (Anonim, 2013b).

### **2.3.4 Titik Tuang**

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan di bawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan (Anonim, 2013a).

### **2.3.5 Angka Setana**

Untuk bahan bakar motor diesel digunakan acuan Angka Setana, yaitu dengan bahan referensi normal cetane ( $C_{16}H_{34}$ ) yang tidak memiliki keterlambatan menyala dan aromatis methyl naphtalene ( $C_{10}H_7CH_3$ ) yang keterlambatannya besar sekali. Angka Setana dari biodiesel sebesar minimal 51 sedangkan standar dari solar sebesar 48, berarti angka Setana biodiesel 1,05 lebih rendah daripada solar. Tetapi angka Setana dari biodiesel yang dihasilkan masih termasuk dalam kisaran standar biodiesel yaitu minimal 51. Pada mesin diesel udara dimampatkan sampai tekanan 30 sampai 40  $kg/cm^2$ , akibat pembakaran maka tekanan yang ada di dalam ruang bakar mencapai 60 sampai 65  $kg/cm^2$ .

Disini diharapkan tidak ada keterlambatan dari nyala agar kenaikan tekanan tidak terlalu tinggi. Kenaikan tekanan yang terlalu tinggi akan menyebabkan detonasi. Hambatan lain yaitu proses pembakaran tidak sempurna sehingga terbentuk jelaga. Pada bahan bakar biodiesel yang memiliki Angka Setana 46,95 berarti bahan bakar tersebut mempunyai kecenderungan menyala pada campuran 46,95 bagian normal angka Setana dan 53,05 bagian methyl naphtalena. Apabila dilihat dari angka Setana biodiesel yaitu 51 maka dapat digolongkan sebagai bahan bakar mesin diesel jalan cepat (mesin diesel jalan cepat pada angka cetane 40 sampai 70). Makin tinggi angka setana nya maka makin rendah titik penyalanya (Anonim, 2013c).

## **2.4 Penentuan Kadar Biodiesel melalui Densitas dan Viskositas**

Viskositas kinematik dan densitas merupakan parameter yang memenuhi syarat untuk standar biodiesel dan minyak diesel, karena merupakan kunci utama dari karakteristik bahan bakar bagi mesin diesel. Pada mesin diesel bahan bakar

disemprotkan menjadi udara bertekanan dan teratomisasi menjadi gelembung kecil dan keluar melalui *nozzle* (Alptekin dan Canacki, 2008).

#### 2.4.1 Penentuan Kadar Biodiesel melalui Densitas

Densitas dapat didefinisikan sebagai massa sebuah obyek dibagi dengan volumenya. Pengukuran ini diulang sebanyak tiga kali untuk setiap sampel dan hasilnya merupakan rata – ratanya. Data eksperimen yang diperoleh merupakan korelasi fungsi fraksi biodiesel dengan persamaan linier empiris. Persamaan ini diperoleh dari analisa regresi dengan menggunakan nilai yang terhitung untuk digunakan sebagai estimasi nilai densitas. Bentuk umum dari persamaan sebagai fungsi fraksi biodiesel sebagaimana terlihat pada Persamaan 2.5.

$$D = Ax + B \quad (2.5)$$

Dimana D adalah densitas ( $\text{g/cm}^3$ ), A dan B adalah koefisien yang nilai bervariasi sesuai dengan jenis minyak yang digunakan dan x adalah fraksi biodiesel yang terbuat dari minyak kedelai, minyak kelapa sawit, minyak bunga matahari, minyak jagung, minyak canola dan minyak biji kapuk (Alptekin dan Canacki, 2008).

#### 2.4.2 Penentuan Kadar Biodiesel melalui Viskositas

Viskositas dari biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan viskositas dari minyak diesel dari fosil dan beberapa peneliti melaporkan bahwa viskositas biodiesel sekitar 1,6 kali viskositas minyak diesel pada  $40^\circ\text{C}$ . Rasio ini meningkat khususnya ketika temperatur di bawah  $25^\circ\text{C}$ . Blending biodiesel dan pemanasan biodiesel meningkatkan karakteristik kekentalan secara signifikan. Viskositas biodiesel dapat diestimasi dari hukum – hukum yang telah diketahui seperti Grun – Nissan dan Katti – Chaudhri, dimana hukum aslinya adalah menggunakan Arrhenius. Hukum tersebut dapat diekspresikan dalam bentuk matematika sebagaimana tertulis pada Persamaan 2.6 berikut ini.

$$\ln(\eta_{\max}) = x_1 \ln(\eta_1) + x_2 \ln(\eta_2) \quad (2.6)$$

Dimana  $\eta_{\max}$  adalah viskositas kinematik campuran,  $\eta_1$  dan  $\eta_2$  adalah viskositas kinematik komponen 1 dan 2,  $x_1$  dan  $x_2$  adalah fraksi massa atau volume dari komponen 1 dan 2 (Tesfa, dkk, 2010).

## 2.5 Degumming

Pemisahan gum merupakan suatu proses pemisahan getah atau lendir yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat, air dan resin, tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas dalam minyak. Biasanya proses ini dilakukan dengan cara penambahan asam fosfat ke dalam minyak, lalu dipanaskan sehingga akan membentuk senyawa fosfolipid yang lebih mudah terpisah dari minyak. Kemudian, disusul dengan proses pemusingan (sentrifusi). (Hambali, dkk., 2007)

## 2.6 Esterifikasi

Proses esterifikasi adalah reaksi reversible dimana asam lemak bebas (*free fatty acid* – FFA) dikonversikan menjadi alkil ester dengan katalis asam (HCl atau yang lebih umum adalah  $H_2SO_4$ ). Jika minyak mempunyai kadar FFA tinggi biasanya terdapat pada minyak goreng bekas, maka dilakukan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara bersamaan dengan katalis asam. Hal ini secara potensial sangat menguntungkan, karena akan menghasilkan konversi yang hampir sempurna. Pada proses esterifikasi mekanisme reaksinya sama dengan reaksi transesterifikasi dengan katalis asam. Reaktan yang berupa FFA dan alkohol diberi katalis asam untuk diubah menjadi alkil ester dan air sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2.7 (Drapcho, dkk., 2008).

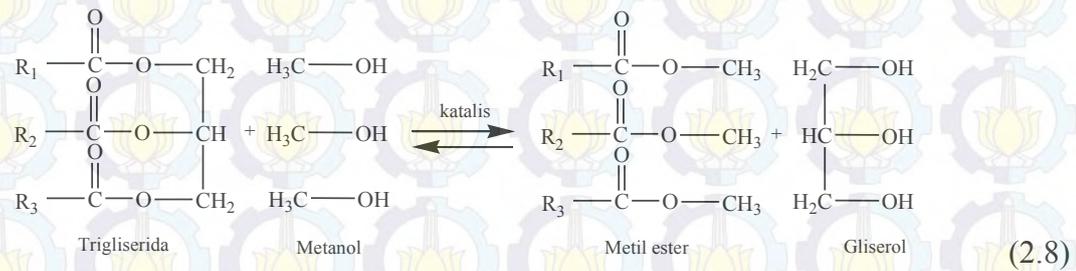


## 2.7 Transesterifikasi

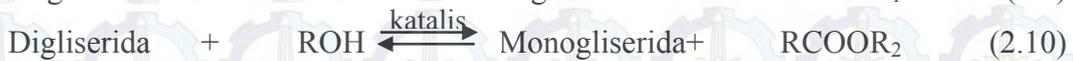
Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida contohnya pada minyak nabati dengan alkohol, biasanya berupa methanol, dengan ditambahkan katalis basa untuk memproduksi FAME (biodiesel) dan gliserol (Noureddini, dkk., 1996; Meher, dkk., 2006). Transesterifikasi berlangsung

dengan kecepatan reaksi yang lebih cepat jika menggunakan katalis basa dibandingkan dengan katalis asam.

Reaksi umum transesterifikasi untuk katalis asam – basa akan mengkonversi trialkilgliserol (TAG) dengan alkohol menjadi alkil ester sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2.8.



Menurut Dermibas (2005), trigliserida dikonversi secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida dan akhirnya gliserol sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 2.9, 2.10 dan 2.11.



Reaksi transesterifikasi biasanya bergantung pada sejumlah parameter, seperti rasio molar antara minyak dan alkohol, tipe dan jumlah katalis yang digunakan, waktu dan temperatur reaksi serta kemurnian dari reaktan. Tipe katalis yang digunakan dapat berupa katalis homogen, heterogen ataupun enzim. Oleh karena itu, tipe katalis yang dipilih mempengaruhi parameter yang digunakan seperti molar ratio antara minyak dan alkohol dan temperatur reaksi yang harus dioptimasi (Krishnamurthy and Viswanathan, 2013).

Alkil ester yang diproduksi bergantung pada alkohol yang digunakan dimana yang biasa digunakan adalah methanol dan etanol. Katalis yang digunakan meliputi KOH, NaOH atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Alkohol berlebih dengan katalis yang memadai “memaksa” kesetimbangan reaksi untuk memproduksi biodiesel ester

dan gliserol. Sesuai dengan persamaan reaksi di atas, hubungan stoikiometri yang dianjurkan adalah 3 mol alkohol berbanding 1 mol TAG (Drapcho, dkk., 2008). Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan. Dalam reaksi ini, sejumlah banyak metanol yang digunakan dalam reaksi kesetimbangan agar reaksi bergerak ke arah kanan sehingga memproduksi metil ester yang lebih banyak sebagai produk utama. Katalis biasa digunakan untuk meningkatkan kecepatan reaksi dan *yield* (Dermibas, 2005).

Reaksi biasanya dianjurkan untuk berlebih dalam jumlah alkohol mulai dari 6:1 sampai 20:1, bergantung pada reaksi kimia untuk transesterifikasi dengan katalis basa dan hingga 50:1 untuk transesterifikasi dengan katalis asam. Untuk transesterifikasi dengan katalis basa biasanya terjadi pada suhu ruang, meskipun terkadang dilakukan sampai 50°C untuk mengurangi kekentalan pada minyak saat kecepatan reaksi meningkat. Sedangkan transesterifikasi dengan katalis asam biasanya dilakukan pada suhu yang lebih tinggi berkisar dari titik didih alkohol sampai 120°C dalam tangki bertekanan (Drapcho, dkk., 2008).

## 2.8 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan kesetimbangan termodinamika saat proses berlangsung. Katalis dapat diproduksi dengan berbagai cara tergantung pada bahan katalis dan proses katalis tersebut digunakan (Lloyd, 2011). Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama.

Secara umum, terdapat tiga kategori katalis yang digunakan dalam produksi biodiesel, yaitu katalis basa, asam, dan enzim. Katalis yang bias digunakan untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel adalah sodium hidroksida, kalium hidroksida dan sodium metoksida. Katalis basa banyak digunakan untuk minyak nabati sebagai bahannya (Van Gerpen, dkk., 2004).

Katalis homogen yang digunakan terdapat tiga kategori yaitu katalis homogen asam dan basa. Tipe katalis homogen asam ini dipilih dan sangat cocok

ketika minyak yang digunakan memiliki angka asam lemak bebas yang tinggi, seperti minyak bekas sehingga dapat dikonversi menjadi biodiesel. Tipe katalis ini antara lain meliputi asam sulfat, asam fosfat, asam klorida. Asam mengkatalisis proses transesterifikasi menjadi alkil ester tetapi reaksi yang terjadi memiliki kecepatan reaksi yang rendah, waktu reaksi yang cukup lama dan terkadang temperatur yang tinggi untuk mendapatkan konversi yang tinggi.

Katalis homogen basa yang biasa digunakan antara lain adalah logam alkali hidroksida (kebanyakan NaOH dan KOH) dan logam berat alkali hidroksida dan alkoksida. Faktor yang membuat katalis ini banyak digunakan dalam proses transesterifikasi adalah hasil yang diperoleh memiliki konversi yang tinggi dalam waktu reaksi yang relatif kecil. Namun kekurangan dari katalis ini adalah pemisahan antara produk dan katalis yang sulit.

Katalis enzim yang biasa digunakan adalah lipase, lipase yang digunakan pada proses transesterifikasi dapat berupa larutan encer atau bukan larutan encer. Proses enzimatik memiliki banyak kelebihan seperti pemisahan produk yang sangat mudah dan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak dapat terkonversi dengan sempurna, namun biaya produksi lipase atau katalis enzim lainnya sangat besar jika dibandingkan dengan sistem katalis yang lain.

Katalis heterogen jika digunakan pada proses transesterifikasi banyak memberikan kelebihan, diantaranya tidak korosif, mudah dipisahkan dan didaur ulang, dapat digunakan pada operasi kontinyu. Namun katalis ini juga memiliki kelemahan diantaranya adalah waktu reaksi yang digunakan cukup lama jika dibandingkan dengan katalis homogen. Katalis yang termasuk tipe ini antara lain adalah golongan logam oksida, zeolit, katalis berpenyangga logam dan mineral *clay* (Krishnamurthy and Viswanathan, 2013).

## 2.9 Aditif

Petrodiesel ditambah dengan berbagai macam aditif untuk dapat memperbaiki lubrisitas, kestabilan oksidasi, ketahanan korosi, konduktivitas dan berbagai sifat lainnya. Sayangnya, teknologi aditif untuk biodiesel belum berkembang sehingga masih sedikit bahan aditif yang digunakan biodiesel untuk memperbaiki performa biodiesel. Salah satu yang harus mendapat perhatian serius

produsen biosel adalah kestabilan oksidasi. Biodiesel banyak mengandung rantai dengan ikatan ganda yang mengakibatkan biodiesel kurang stabil dibanding petrodiesel. Banyak bahan yang telah dikembangkan untuk stabilitas oksidasi di industri makanan yang dapat digunakan dalam industri biodiesel. (Anonim, 2012b)

Penambahan biodiesel pada solar juga akan berpengaruh pada kualitas solar, maka perlu penambahan bahan lain yang diharapkan bisa memperbaiki penurunan sifat solar tersebut, misalnya dengan penambahan bioaditif. Selain itu dengan penambahan bioaditif diharapkan dapat menurunkan SFC (*Specific Fuel Consumption*) atau menurunkan pemakaian BBM baru hasil modifikasi. SFC dari bahan bakar blending ini akan dapat diturunkan atau diperbaiki dengan menambahkan suatu bahan bioaditif yang dapat menyempurnakan pembakaran melalui interaksi internal bioaditif dengan BBM *blending* yang ditandai dengan meningkatnya kalori dan angka setana bahan tersebut. (Munawir, 2006)

## **2.10 Mesin Diesel**

Diesel berasal dari nama seorang insinyur dari Jerman yang menemukan mesin ini pada tahun 1893, yaitu Dr. Rudolf Diesel. Ia mendapatkan paten (RP 67207) berjudul 'Arbeitsverfahren und für Ausführungsart Verbrennungsmaschinen'. Pada waktu itu mesin tersebut tergantung pada panas yang dihasilkan ketika kompresi untuk menyalakan bahan bakar. Bahan bakar ini diteruskan ke silinder oleh tekanan udara pada akhir kompresi. Pada tahun 1924, Robert Bosch, seorang insinyur dari Jerman, mencoba mengembangkan pompa injeksi daripada menggunakan metode tekanan udara yang akhirnya berhasil menyempurnakan ide dari Rudolf Diesel. Keberhasilan Robert Bosch dengan mesin dieselnnya tersebut sampai saat ini digunakan oleh masyarakat.

### **2.10.1 Prinsip kerja Mesin Diesel**

Mesin/motor diesel (*diesel engine*) merupakan salah satu bentuk motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) di samping motor bensin dan turbin gas. Motor diesel disebut dengan motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*) karena penyalaan bahan bakarnya diakibatkan oleh suhu

kompresi udara dalam ruang bakar. Di lain pihak motor bensin disebut motor penyalan busi (*spark ignition engine*) karena penyalan bahan bakar diakibatkan oleh percikan bunga api listrik dari busi.

Cara pembakaran dan pengatomisasian (*atomizing*) bahan bakar pada motor diesel tidak sama dengan motor bensin. Pada motor bensin campuran bahan bakar dan udara melalui karburator dimasukkan ke dalam silinder dan dibakar oleh nyala listrik dari busi. Pada motor diesel yang diisap oleh torak dan dimasukkan ke dalam ruang bakar hanya udara, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Agar bahan bakar solar dapat terbakar sendiri, maka diperlukan rasio kompresi 15-22 dan suhu udara kompresi kira-kira 600°C.

Meskipun untuk motor diesel tidak diperlukan system pengapian seperti halnya pada motor bensin, namun dalam motor diesel diperlukan sistem injeksi bahan bakar yang berupa pompa injeksi (*injection pump*) dan pengabut (*injector*) serta perlengkapan bantu lain. Bahan bakar yang disemprotkan harus mempunyai sifat dapat terbakar sendiri (*self ignition*).

### 2.10.2 Perbedaan Utama Mesin Diesel dengan Mesin Bensin

Motor diesel dan motor bensin mempunyai beberapa perbedaan utama, bila ditinjau dari beberapa item di bawah ini, yaitu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Perbedaan utama motor diesel dan motor bensin

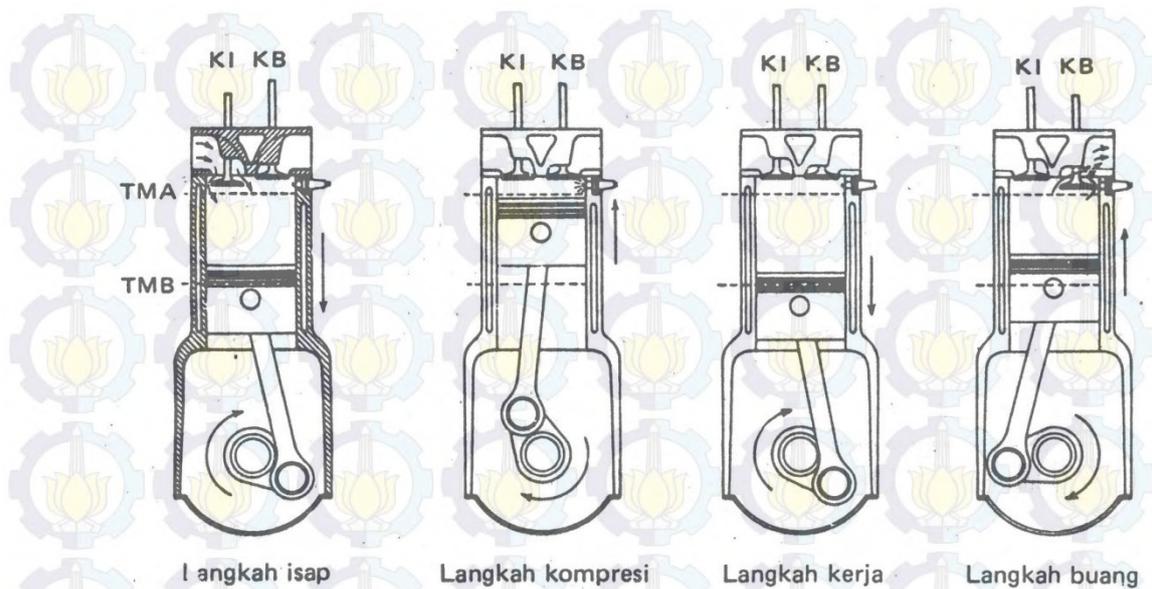
No	Item	Motor Diesel	Motor Bensin
1.	Siklus Pembakaran	Siklus Sabathe	Siklus Otto
2.	Rasio kompresi	15 – 22	6 – 12
3.	Ruang bakar	Rumit	Sederhana
4.	Pencampuran bahan bakar	Diinjeksikan pada akhir langkah	Dicampur dalam karburator
5.	Metode penyalan	Terbakar sendiri	Percikan busi
6.	Bahan bakar	Solar	Bensin
7.	Getaran suara	Besar	Kecil
8.	Efisiensi panas (%)	30 – 40	22 – 30

Motor diesel juga mempunyai keuntungan dibanding motor bensin, yaitu:

- a. Pemakaian bahan bakar lebih hemat, karena efisiensi panas lebih baik, biaya operasi lebih hemat karena solar lebih murah.
- b. Daya tahan lebih lama dan gangguan lebih sedikit, karena tidak menggunakan sistem pengapian
- c. Jenis bahan bakar yang digunakan lebih banyak
- d. Operasi lebih mudah dan cocok untuk kendaraan besar, karena variasi momen yang terjadi pada perubahan tingkat kecepatan lebih kecil.

Secara singkat prinsip kerja motor diesel 4 tak adalah sebagai berikut:

- a. Langkah isap, yaitu waktu torak bergerak dari TMA ke TMB. Udara diisap melalui katup isap sedangkan katup buang tertutup.
- b. Langkah kompresi, yaitu ketika torak bergerak dari TMB ke TMA dengan memampatkan udara yang diisap, karena kedua katup isap dan katup buang tertutup, sehingga tekanan dan suhu udara dalam silinder tersebut akan naik.
- c. Langkah usaha, ketika katup isap dan katup buang masih tertutup, partikel bahan bakar yang disemprotkan oleh pengabut bercampur dengan udara bertekanan dan suhu tinggi, sehingga terjadilah pembakaran. Pada langkah ini torak mulai bergerak dari TMA ke TMB karena pembakaran berlangsung bertahap.
- d. Langkah buang, ketika torak bergerak terus dari TMA ke TMB dengan katup isap tertutup dan katup buang terbuka, sehingga gas bekas pembakaran terdorong keluar.



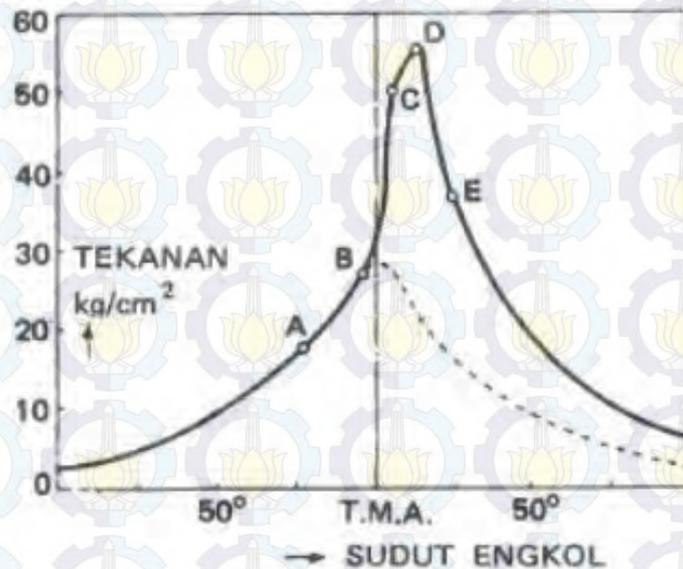
Gambar 2.2. Prinsip Kerja Mesin Diesel

### 2.10.3 Proses Pembakaran Mesin Diesel

Proses pembakaran dibagi menjadi 4 periode:

- a) Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delay*) (A -B) Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel-partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder agar mudah terbakar.
- b) Periode 2: Perambatan api (B-C) Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik. Periode ini sering disebut periode ini sering disebut pembakaran letup.
- c) Periode 3: Pembakaran langsung (C-D) Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol.
- d) Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E) Injeksi berakhir di titik D, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila pembakaran lanjut terlalu lama,

temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun. (Suwasono, 2012)



Gambar 2.3. Prinsip Pembakaran Mesin Diesel

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Penggunaan katalis pada proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan katalis asam maupun katalis basa. Lu, dkk (2008) melakukan penelitian pembuatan biodiesel dari *Jatropha curcas* dengan proses transesterifikasi menggunakan KOH sebagai katalis. Dimana hasil yang diperoleh adalah FAME dan gliserol. Pada FAME dilakukan pencucian dengan air untuk menghilangkan sabun dan gliserol sebelum proses pengeringan. Hasil yang diperoleh adalah yield biodiesel dengan transesterifikasi lebih tinggi dari 98% dengan waktu reaksi 20 menit menggunakan 1,3% KOH sebagai katalis, dan molar ratio methanol : minyak adalah 6 : 1 pada suhu 64°C.

Keskin, dkk (2007) melakukan penelitian transesterifikasi pada minyak *tall* menggunakan aditif Mn dan Ni dan diperoleh hasil bahwa Mn dan Ni yang merupakan aditif logam metalik dapat mengurangi nilai titik tuang dan viskositas bahan bakar bergantung pada jumlah aditif yang ditambahkan. Hasil terbaik diperoleh dengan menambahkan Mn sebagai aditif. Keskin, dkk. (2008) melanjutkan kembali penelitiannya dengan menggunakan Mg dan Mo, diperoleh

hasil bahwa aditif tersebut meningkatkan nilai titik tuang dan viskositas pada biodiesel B60 bergantung pada jumlah yang ditambahkan. Kadar emisi gas CO menurun menjadi 56,42%. Selain itu nilai emisi NOx dan CO<sub>2</sub> juga menurun.

Keskin, dkk (2011) kembali melakukan penelitian dengan menggunakan MnO<sub>2</sub> dan MgO selama 1 jam proses reaksi sebagai bahan aditif pada pembuatan biodiesel. Dari penelitian ini dihasilkan bahwa aditif yang berasal dari logam metallic efektif mengurangi kadar emisi CO. Kadar emisi CO dengan aditif Mn sebesar 16,35% dan Mg sebesar 13,43%.

Sedangkan Kannan, dkk (2011) meneliti efek penambahan katalis berupa oksida logam pada pembuatan biodiesel. Seperti CuO, CuCl<sub>2</sub>, CoCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> dan CuSO<sub>4</sub>. Dari penelitian ini diperoleh bahwa aditif FeCl<sub>3</sub> efisien dalam meningkatkan sifat fisik biodiesel dari minyak sawit.



Halaman ini sengaja dikosongkan

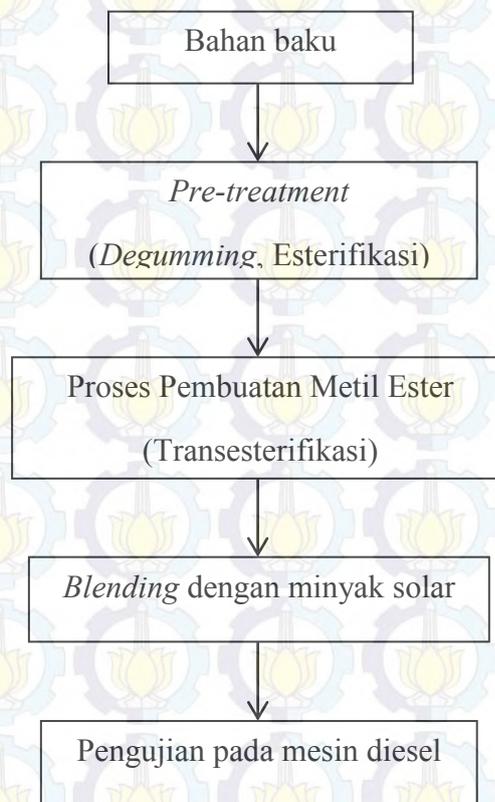
## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan bahan baku berupa minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). Minyak ini dikonversikan menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan beberapa macam perlakuan.

### 3.2 Skema Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang akan dilaksanakan. Dimulai dengan penyiapan bahan baku, *pre-treatment* hingga reaksi transesterifikasi dan terakhir *blending* produk. Tahapan – tahapan tersebut sebagaimana tertera pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Skema Penelitian

### 3.3 Bahan Penelitian

#### 1 Minyak biji jarak pagar (*Crude Jatropha Oil*)

CJO yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemurnian dengan memisahkan gum yang masih terdapat pada minyak tersebut dengan proses degumming. Minyak ini diambil dari Malang yang sebelumnya dilakukan pengepressan terhadap biji jarak pagar.

#### 2 Alkohol

Alkohol yang digunakan adalah methanol dengan kemurnian 99,9%.

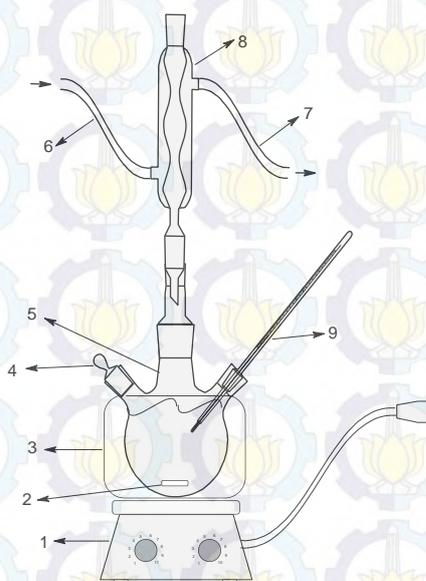
#### 3 Katalis

Katalis yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa katalis basa untuk proses transesterifikasi. Katalis basa tersebut yaitu  $Mg(OH)_2$ ;  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$ .

### 3.4 Alat Penelitian

#### 1. Peralatan Transesterifikasi

Peralatan transesterifikasi terdiri dari reaktor *batch* berupa labu leher tiga yang dimasukkan dalam *waterbath* dan disambungkan dengan sebuah kondensor kemudian dipanaskan dengan bantuan *hotplate stirrer*. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2 Rangkaian Peralatan Transesterifikasi

Keterangan :

1. *Stirer hot plate*
2. *Magnetic stirrer*
3. *Waterbath*
4. Penyumbat karet
5. Labu leher tiga
6. Air Pendingin masuk
7. Air Pendingin keluar
8. Kondensor refluks
9. Termometer

Deskripsi Peralatan Transesterifikasi:

Volume reaktor *batch* (labu kaca leher tiga) = 1000 ml

Panjang kondensor = 40 cm

## 2. Mesin Diesel

Mesin diesel yang digunakan berupa gabungan mesin diesel dan generator

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Perlakuan Pendahuluan

Minyak jarak pagar yang digunakan terlebih dahulu diukur densitasnya menggunakan piknometer, kemudian dilakukan uji kadar asam lemak (FFA) dengan metode titrimetri untuk mengetahui apakah perlu dilakukan esterifikasi atau langsung dilakukan reaksi transesterifikasi.

#### 3.5.2 Degumming

Minyak jarak ditambahkan asam fosfat pekat sebanyak 0,1 % dari berat minyak dan dipanaskan pada suhu 80°C sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan sedang selama 30 menit. Selanjutnya minyak diendapkan sedikitnya 48 jam untuk mengendapkan *gum* dan kemudian disaring.

#### 3.5.3 Transesterifikasi

Minyak jarak pagar yang sudah melalui proses degumming dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan dengan menggunakan *hotplate stirrer* hingga suhu yang diinginkan sesuai dengan

variabel yang telah ditetapkan. Kemudian campuran katalis dan metanol dimasukkan perlahan ke dalam labu yang berisi minyak jarak pagar tadi sambil dilakukan pengadukan secara konstan pada waktu yang telah ditetapkan. Setelah waktu reaksi berakhir, pengadukan dan pemanasan dihentikan dan produk yang dihasilkan dikeluarkan dari labu untuk dipisahkan dalam corong pemisah. Metil ester yang dihasilkan berada di lapisan atas, sedangkan gliserol berada di lapisan bawah.

Catatan:

Untuk suhu 30°C tidak perlu dipanaskan karena diperkirakan suhu tersebut akan tercapai dengan sendirinya.

#### **3.5.4 Pengujian Mesin Diesel**

Metil ester yang telah diperoleh dari hasil reaksi transesterifikasi *diblending* dengan solar sesuai dengan variabel yang telah ditetapkan dihubungkan pada 3 buah *heater* yang berfungsi sebagai beban pada mesin tersebut. Bahan bakar yang digunakan berupa *blending* solar yang terdiri 5 variasi yaitu B0 (100% solar murni), B5 (5% FAME dan 95% solar), B10 (10% FAME dan 90% solar), B20 (20% FAME dan 80% solar) dan B100 (100% FAME murni). *Blending* solar tersebut dibuat untuk masing – masing katalis. *Blending* solar tersebut dimasukkan sebanyak 50 ml ke dalam buret untuk mengukur kebutuhan mesin per satuan waktu. Kemudian mesin diesel dinyalakan dengan mengatur putaran mesin hingga putaran yang diinginkan stabil. Setelah putaran mesin stabil dan bahan bakar telah terpakai sekitar 25 ml dilakukan pengukuran *fuel consumption* dan emisi gas buangnya.

### **3.6 Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian**

#### **3.6.1. Kondisi Operasi**

Kondisi operasi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Waktu reaksi yang digunakan adalah 6 jam.
2. Ratio mol minyak – methanol adalah 1 : 6
3. Tekanan yang digunakan adalah tekanan atmosferik

4. Putaran mesin yang digunakan adalah 1200 rpm
5. Beban mesin yang dikenakan adalah 1050 watt

### 3.6.2. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Untuk produksi biodiesel, variabel – variabel yang digunakan adalah:

1. Jenis katalis :  $Mg(OH)_2$ ;  $Ca(OH)_2$ ;  $Ba(OH)_2$
2. Suhu reaksi transesterifikasi ( $^{\circ}C$ ) : 30; 40; 50; 60; 70
3. Jumlah katalis (% berat pada minyak) : 1; 2; 4; 6; 8

Untuk uji pada mesin diesel, variabel yang digunakan adalah:

1. Komposisi FAME : minyak diesel : B0; B5; B10; B20; B100

### 3.7 Besaran yang Diukur

Besaran yang diukur pada penelitian ini adalah:

1. Kadar Metil ester (dalam %)  
Mengetahui banyaknya kandungan metil ester yang dihasilkan pada proses transesterifikasi.
2. Daya Motor Diesel  
Mengetahui besarnya daya motor yang dibangkitkan untuk proses terbakarnya biodiesel.
3. Konsumsi Bahan Bakar  
Mengetahui besarnya konsumsi bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran biodiesel.

### 3.8 Analisa Produk

Analisa biodiesel yang dilakukan adalah:

1. Massa jenis  
Massa jenis menunjukkan perbandingan berat per satuan volume. Karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin disel per satuan volume bahan bakar. Jika biodisel mempunyai massa jenis melebihi ketentuan, akan terjadi reaksi tidak sempurna pada konversi minyak nabati. Biodiesel dengan mutu seperti ini seharusnya tidak digunakan

untuk mesin diesel, karena akan meningkatkan keausan mesin, emisi dan menyebabkan kerusakan pada mesin.

2. Viskositas

Viskositas merupakan parameter utama biodiesel yang menentukan lancarnya aliran biodiesel masuk ke dalam mesin diesel. Tingginya viskositas akan menyebabkan rendahnya atomisasi bahan bakar, rendahnya pembakaran dari injektor bahan bakar, ring karbonisasi, dan akumulasi bahan bakar dalam minyak pelumas

3. Titik nyala (*flash point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Titik nyala yang tinggi akan memudahkan proses penanganan, penyimpanan dan pengangkutan karena lebih tidak mudah terbakar pada suhu ruang.

4. Titik tuang (*pour point*)

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan di bawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

5. Kadar Emisi Gas

Pengujian ini untuk mengetahui besarnya emisi gas yang dihasilkan dari pembuatan biodiesel dari minyak jarak

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil *Free Fatty Acid* Minyak Jarak Pagar

Karakteristik bahan baku minyak jarak pagar dapat diketahui dari besarnya kadar asam lemak bebas (FFA) yang terkandung di dalamnya. Sehingga besarnya kadar minyak jarak pagar harus dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap sampel minyak jarak pagar yang digunakan. Sampel minyak jarak pagar ini merupakan hasil 3 kali pengepresan dari biji jarak pagar. Sehingga penomoran sampelnya didasarkan pada waktu pengepresan biji jarak pagar. Pengujian kadar FFA ini dilakukan dengan metode titrasi dengan menggunakan larutan standar baku berupa NaOH 0,1 N dengan menggunakan indikator *phenolphthalein* (pp).

Hasil pengujian sebagaimana tertera dalam Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Kadar FFA dalam Minyak Jarak Pagar

No	Volume NaOH (ml)	FFA (%)
1	1,5	0,2021
2	1	0,1880
3	2,1	0,4297

Perbedaan nilai FFA yang diperoleh dari perhitungan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi tersebut antara lain kualitas biji yang berbeda. Hal ini dimungkinkan terjadi karena perbedaan dari proses tanam atau perlakuan pada biji – biji jarak pagar tersebut. Selain itu juga daerah tanam dari biji – biji tersebut.

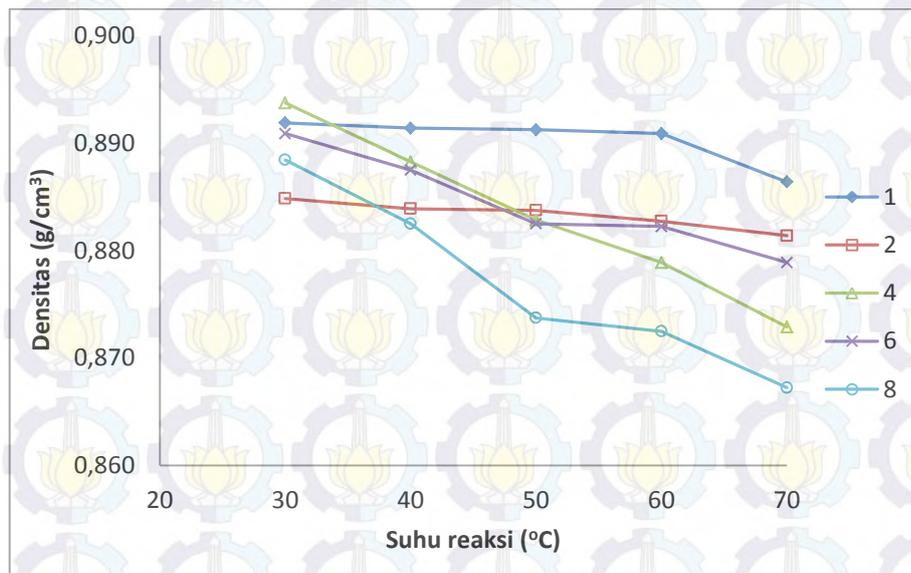
Kadar FFA yang diperoleh dari perhitungan pada bahan baku berkisar antara 0,1 – 0,43%, hal ini mengindikasikan bahwa bahan baku memiliki kadar FFA yang rendah sehingga pada proses pembuatan biodiesel tidak perlu dilakukan proses reaksi esterifikasi terlebih dahulu, namun dapat langsung dilakukan proses reaksi transesterifikasi. Sebagaimana diterangkan oleh Van Gerpen, dkk (2004),

bahwa umumnya FFA dengan kadar di bawah 1% atau lebih tepatnya kurang dari 0,5% maka dapat diabaikan, sehingga tidak perlu melalui proses esterifikasi terlebih dahulu. Sharma dan Singh (2009) menerangkan juga bahwa untuk proses reaksi transesterifikasi alkali, kandungan FFA pada minyak memiliki kisaran antara lebih kecil dari 0,5% atau lebih kecil dari 3%.

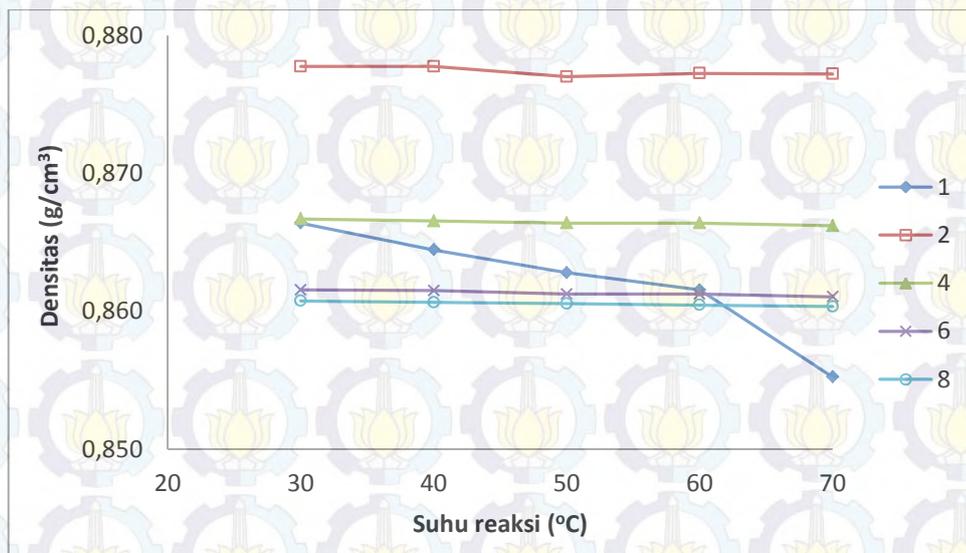
#### **4.2. Pengaruh Suhu Reaksi Transesterifikasi pada Densitas**

Densitas dari bahan bakar diesel merupakan parameter yang sangat penting, karena merupakan parameter yang sangat krusial dalam melihat performa mesin diesel (Tat dan Van Gerpen, 2000). Selain itu densitas juga dapat digunakan untuk mengukur banyaknya bahan bakar yang digunakan melalui metode *volumetric* (Alptekin dan Canakci, 2008). Adanya variasi densitas akan mempengaruhi besarnya daya dan karakteristik dari semburan bahan bakar selama proses injeksi bahan bakar dan pembakaran dalam ruang bakar (Bhale, dkk, 2009).

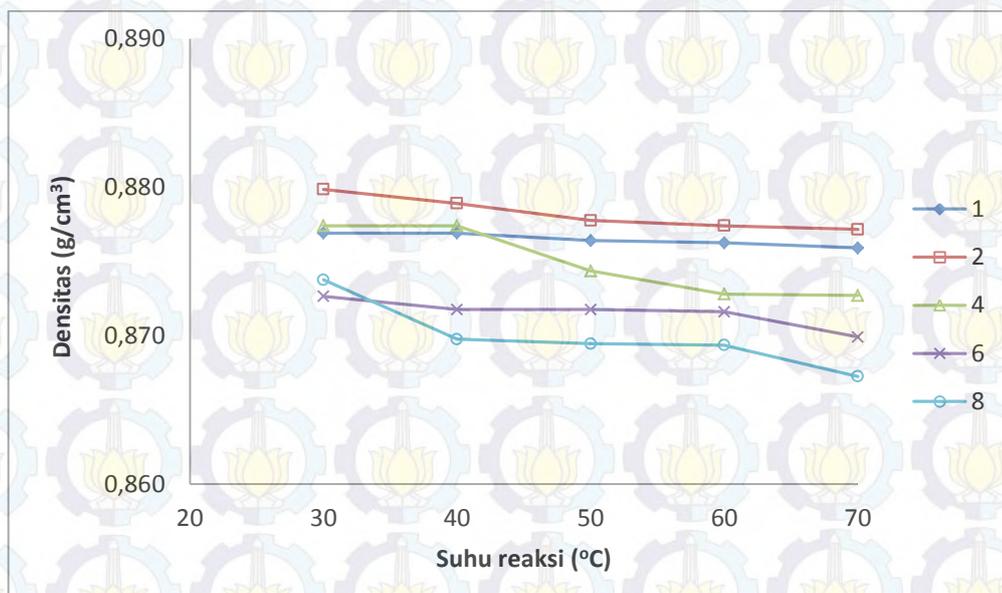
Tat dan Van Gerpen (2000) melakukan perhitungan secara eksperimen terhadap densitas dari beberapa fraksi biodiesel dari minyak kedelai sebagai fungsi suhu. Hasil yang diperoleh oleh mereka adalah bahwa biodiesel dalam campurannya akan menunjukkan pengaruhnya terhadap perubahan suhu. Pada penelitian ini, fenomena tersebut juga dapat dilihat dari gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 berikut ini.



Gambar 4.1. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis  $Mg(OH)_2$  (%w/w)



Gambar 4.2. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis  $Ca(OH)_2$  (%w/w)



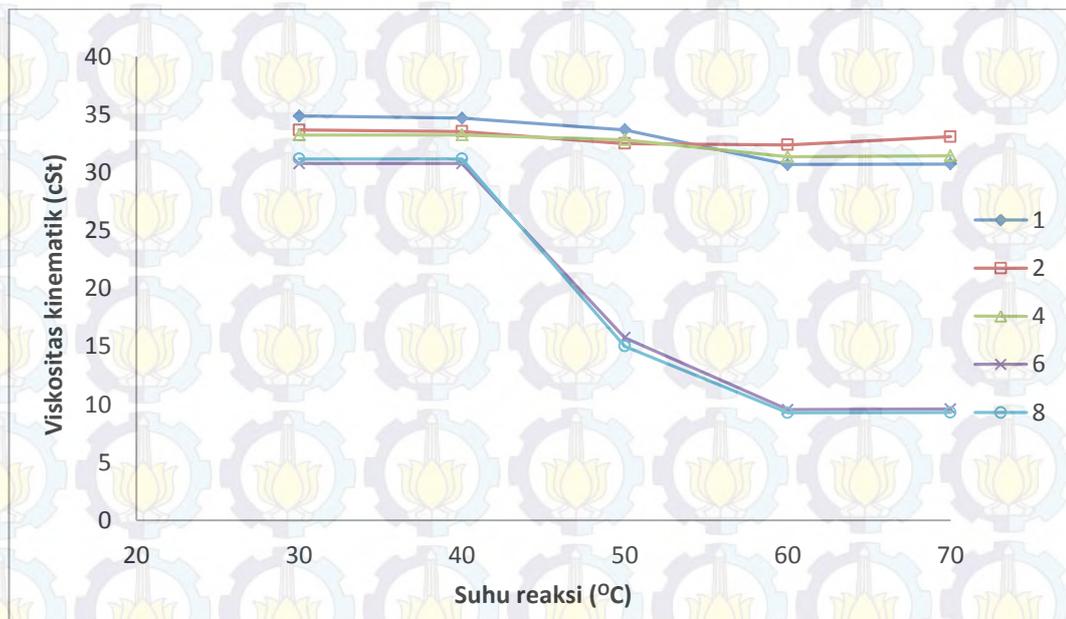
Gambar 4.3. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  (%w/w)

Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi transesterifikasi maka nilai densitas akan semakin menurun. Meskipun penurunannya tidak terlalu signifikan dengan menggunakan ketiga macam katalis tersebut. Dari ketiga katalis yang digunakan nilai densitas untuk masing – masing % berat katalis pada setiap suhu menunjukkan nilai yang tidak berbeda jauh. Yaitu berkisar antara  $0,8604 - 0,89375 \text{ g/cm}^3$ .

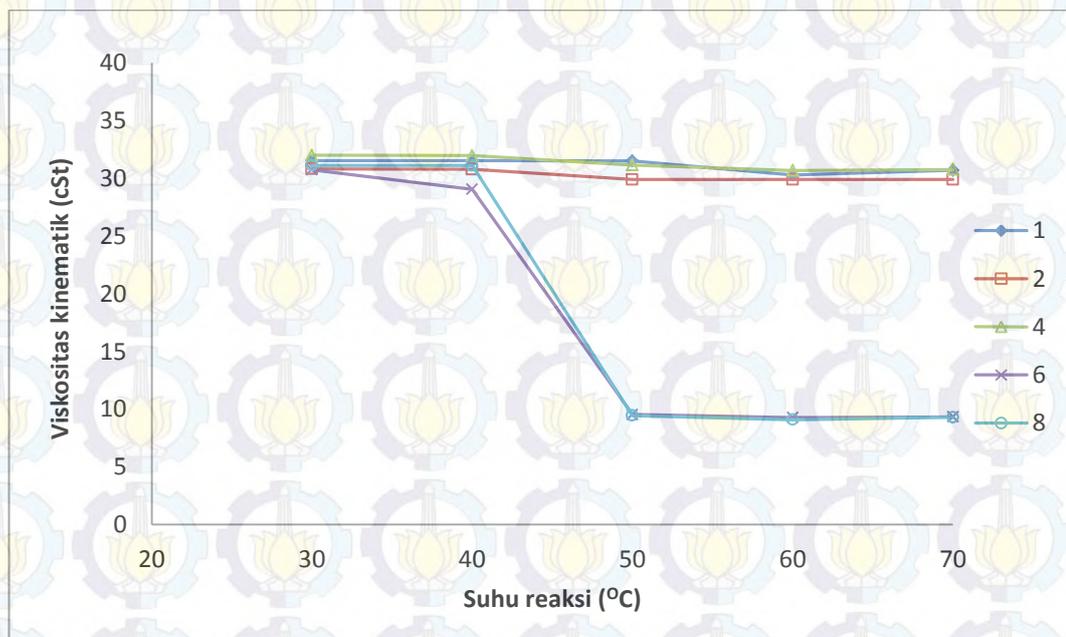
#### 4.3. Pengaruh Suhu Reaksi Transesterifikasi pada Viskositas Kinematik

Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada suhu rendah dan waktu yang sedikit (Muniyappa, dkk, 1996). Sehingga sering kali proses reaksi transesterifikasi dilakukan pada suhu yang terendah adalah suhu kamar dan suhu tertinggi adalah pada suhu  $65^\circ\text{C}$  (Sharma dan Singh, 2009). Hal ini dikarenakan titik didih metanol adalah berkisar  $64,7^\circ\text{C}$ . Sehingga proses reaksi transesterifikasi di atas suhu tersebut dapat menyebabkan metanol terbakar. Selain itu menurut Ramadhas, dkk (2005), suhu yang tinggi akan menyebabkan terjadinya saponifikasi sehingga cenderung dihindari.

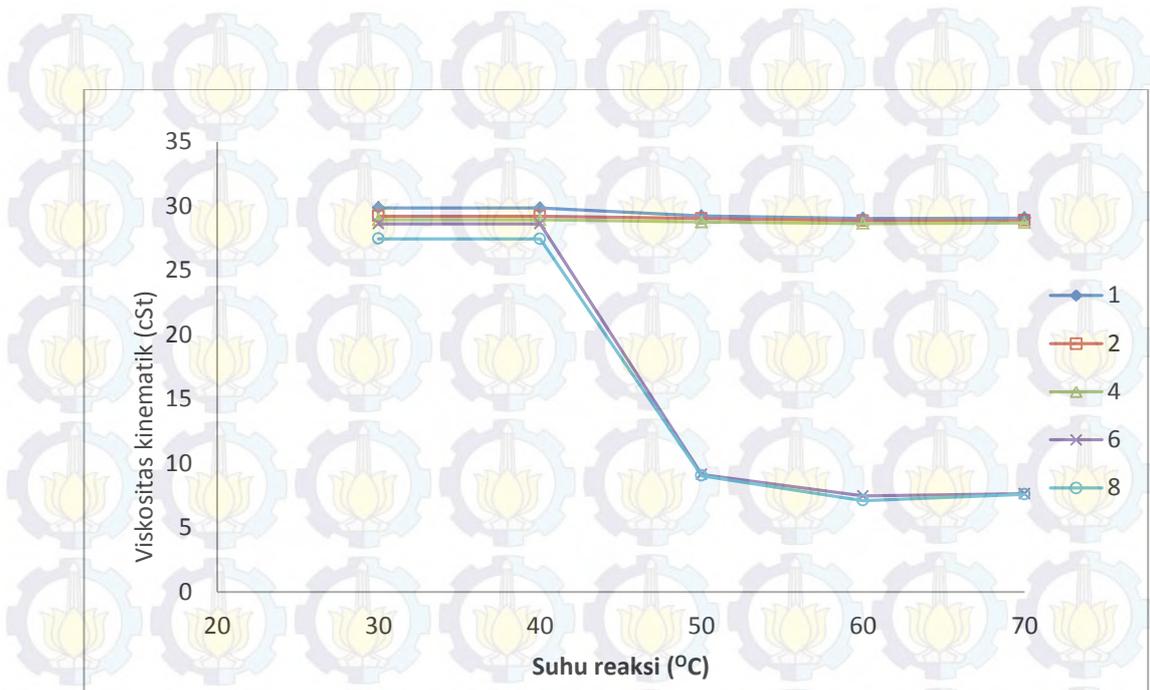
Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 berikut ini dapat diketahui bahwa suhu reaksi transesterifikasi akan berpengaruh pada besarnya viskositas dari metil ester yang dihasilkan. Gambar tersebut merupakan plot antara suhu reaksi dengan viskositas kinematik dengan katalis  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$ .



Gambar 4.4. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $Mg(OH)_2$  (%w/w)



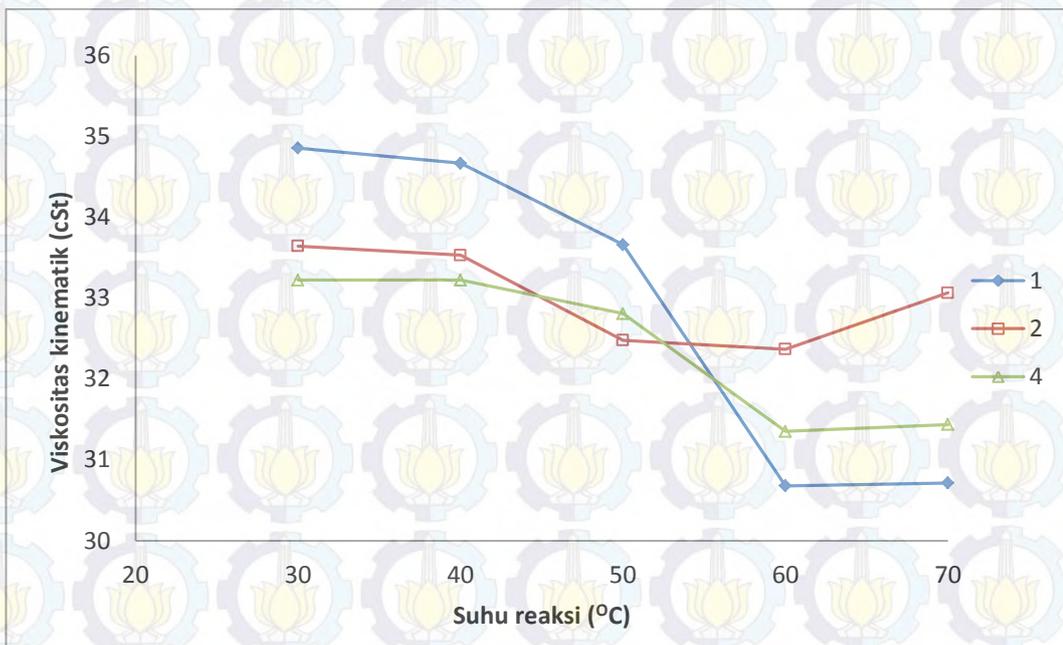
Gambar 4.5. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $Ca(OH)_2$  (%w/w)



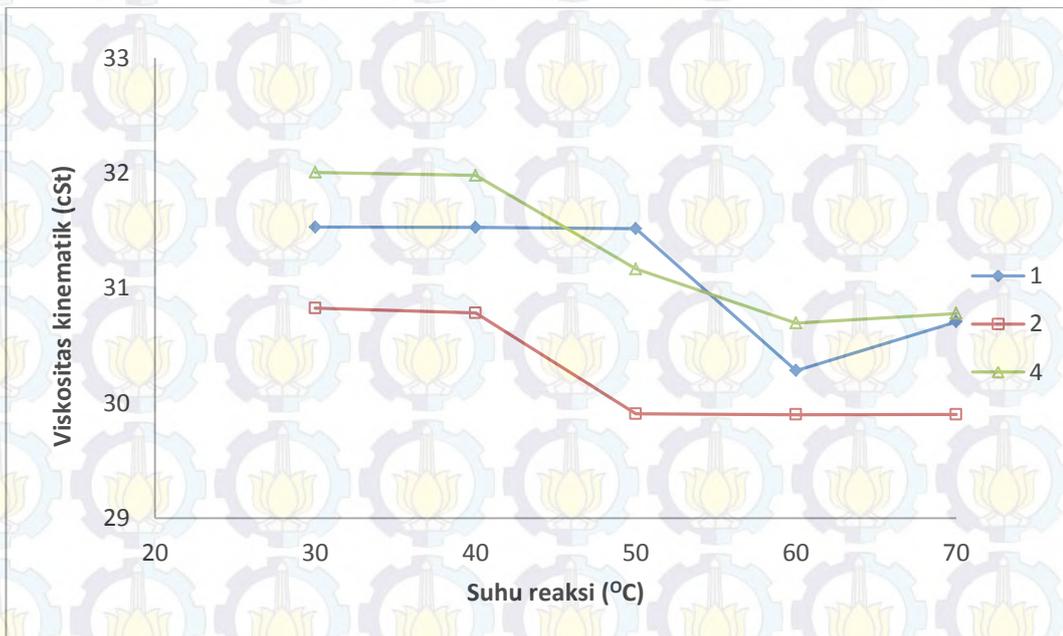
Gambar 4.6. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  (%w/w)

Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 tersebut di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka viskositas kinematiknya akan semakin turun. Hal ini dikarenakan suhu reaksi sangat berpengaruh pada reaksi transesterifikasi. Suhu reaksi yang semakin tinggi akan dapat menurunkan viskositas produk dan dapat meningkatkan kecepatan reaksi serta memperpendek waktu (Leung, dkk., 2010). Pada ketiga gambar tersebut dapat diketahui bahwa viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis pada masing – masing suhu semakin menurun. Penurunan yang sangat signifikan terjadi dengan % berat katalis sebesar 6% dan 8%.

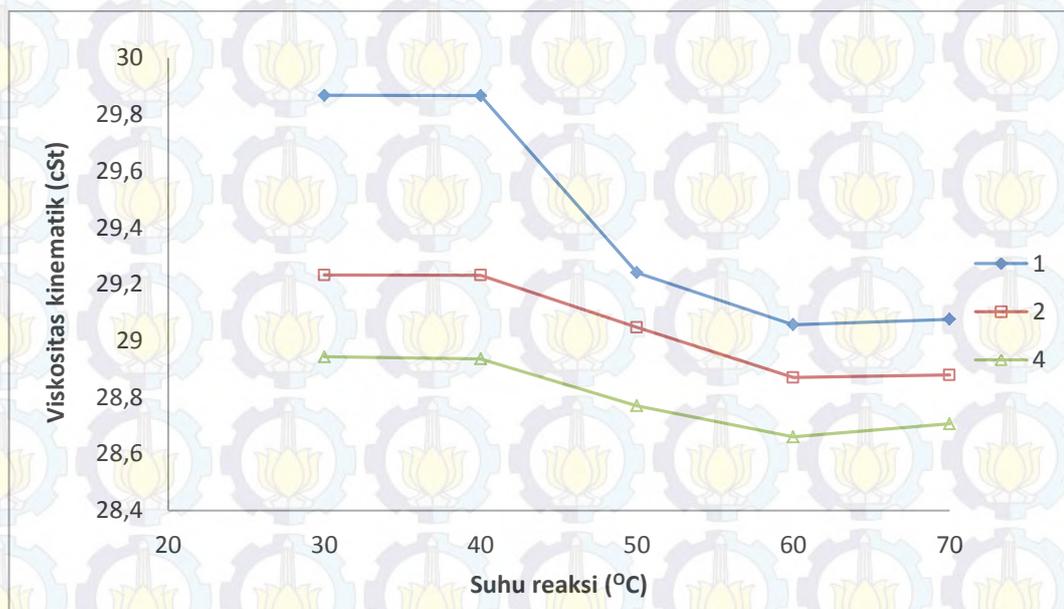
Pada % berat katalis lainnya – 1%, 2% dan 4% - juga terjadi penurunan viskositas kinematik, namun tidak terlalu besar perubahannya sebagai mana tertera pada gambar 4.7, 4.8 dan 4.9 berikut ini.



Gambar 4.7. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (%w/w)



Gambar 4.8. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (%w/w)



Gambar 4.9. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi yang dilakukan maka viskositas kinematiknya semakin menurun. Namun penurunan viskositas kinematik pada ketiga gambar tersebut tidak signifikan, ditandai dengan angka viskositas yang masih cukup tinggi, sebagai contoh pada proses transesterifikasi dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub> dengan % berat katalis 1% pada suhu 60°C berkisar 30,2823 jika dibandingkan dengan % berat katalis 8% pada suhu 60°C berkisar 7,4994. Hal ini dikarenakan kecepatan reaksi selain dipengaruhi oleh suhu maka juga dipengaruhi oleh keberadaan dan jumlah katalis. Ketiga gambar tersebut di atas juga terdapat beberapa fenomena yang berbeda yaitu pada beberapa titik terdapat kesamaan nilai viskositas kinematik. Hal ini dapat disebabkan oleh kualitas dan kinerja katalis dalam peranannya pada reaksi transesterifikasi.

Pada suhu 70°C, viskositas kinematik pada ketiga katalis yang digunakan cenderung mengalami kenaikan kembali, hal ini disebabkan karena proses reaksi transesterifikasi telah melampaui titik didih alkohol. Menurut Pramanik (2003), alkoholisis basa atau biasa disebut dengan transesterifikasi katalis basa pada minyak tumbuhan biasanya dilakukan pada suhu terdekat dengan titik didih alkohol. Namun viskositas kinematik dengan % berat katalis sebesar 6% untuk

ketiga macam katalis pada suhu 70°C tidak mengalami kenaikan viskositas kinematik, hal ini terjadi disebabkan proses alkoholisis yang masih dapat berlangsung dengan baik pada kondisi tersebut.

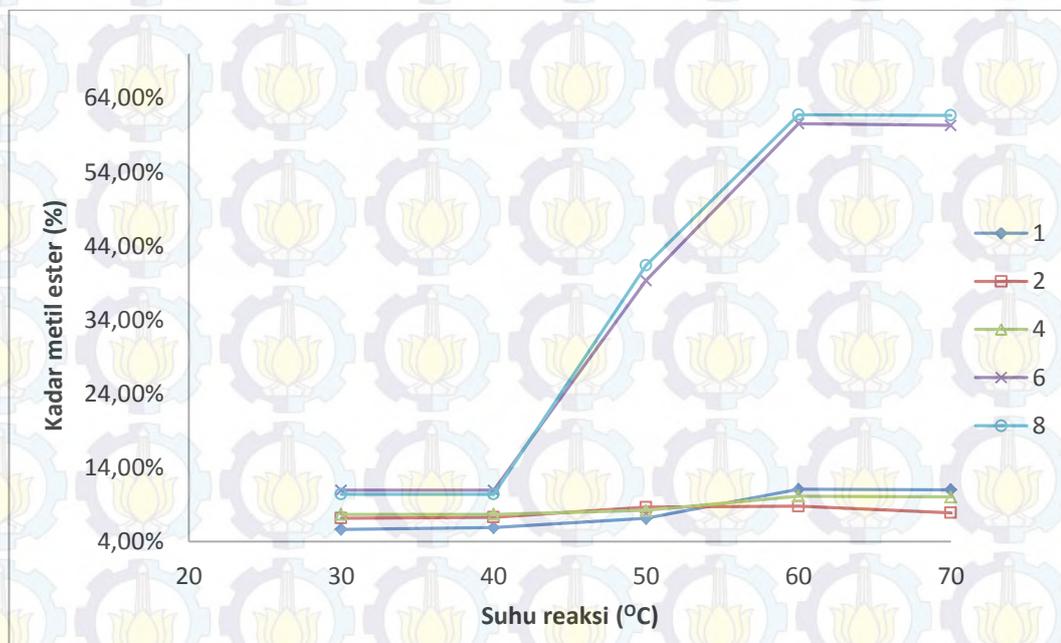
Viskositas kinematik terbaik yang diperoleh dari penelitian ini adalah viskositas kinematik pada suhu 60°C dan % berat katalis adalah 8%. Nilai ini diperoleh pada ketiga macam katalis yaitu  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $Ba(OH)_2$  secara berturut – turut adalah 9,2737 cSt, 9,0758 cSt dan 7,1059 cSt. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak telah terkonversi menjadi metil ester namun kadarnya tergolong kecil.

#### **4.4. Pengaruh Suhu Reaksi Transesterifikasi pada % Kadar Metil ester**

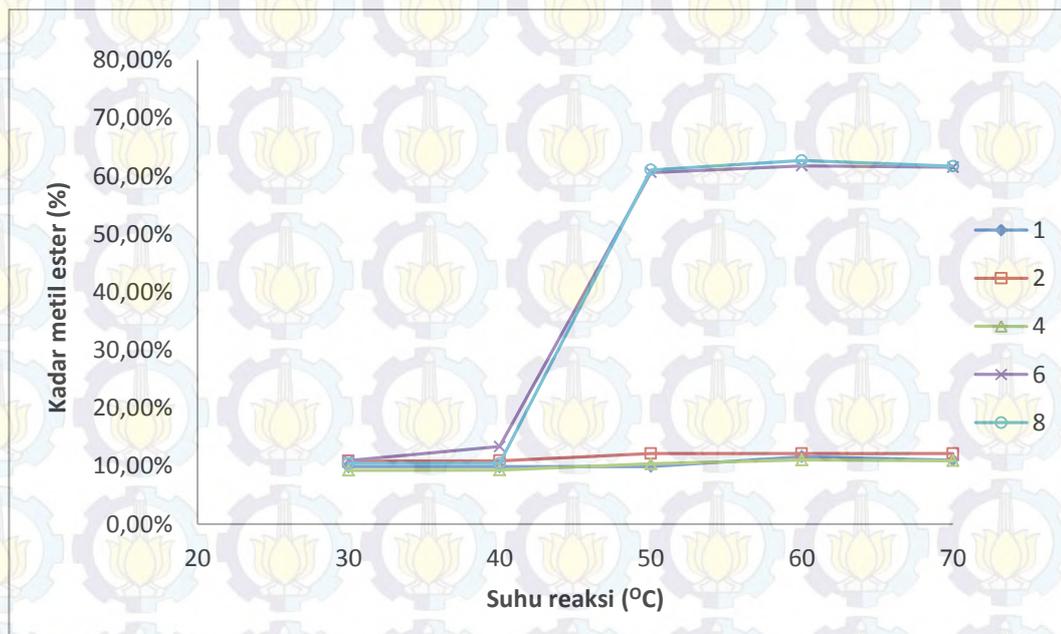
Penentuan % kadar metil ester dapat dilakukan dengan berbagai metode. Penentuan metil ester tersebut yang paling sederhana dapat didekati dengan melakukan pendekatan yang didasari dari pengukuran viskositas kinematik dari metil ester (Alptekin dan Canakci, 2008; Tesfa, dkk., 2010). Pendekatan yang dilakukan didasari bahwa biodiesel yang diperoleh murni mengandung metil ester. Sehingga hanya ada kandungan minyak yang digunakan sebagai bahan baku dan metil ester saja.

Pada penelitian ini, penulis mengasumsikan bahwa biodiesel yang diperoleh dari hasil reaksi transesterifikasi mempunyai kandungan metil ester saja, karena setelah proses transesterifikasi dilakukan proses pemurnian metil ester dengan melakukan pemisahan metil ester dari gliserol dan katalis yang digunakan, kemudian dilakukan proses pemanasan untuk menguapkan kandungan air yang masih terdapat dalam produk utama (metil ester). Adanya proses pemurnian ini, mengindikasikan bahwa komposisi yang terkandung dalam biodiesel hanya metil ester dan minyak jarak. Hal ini ditandai dengan warna metil ester setelah pemurnian lebih pucat jika dibandingkan dengan minyak jarak pagar untuk bahan baku, produk lebih encer karena viskositas kinematiknya lebih rendah, dan setelah produk didiamkan selama 2 hari tidak terbentuk endapan yang menunjukkan adanya katalis/gliserol sisa yang masih terdapat pada produk. Oleh karena itu dapat dilakukan pendekatan penentuan kadar biodiesel dari viskositas kinematik.

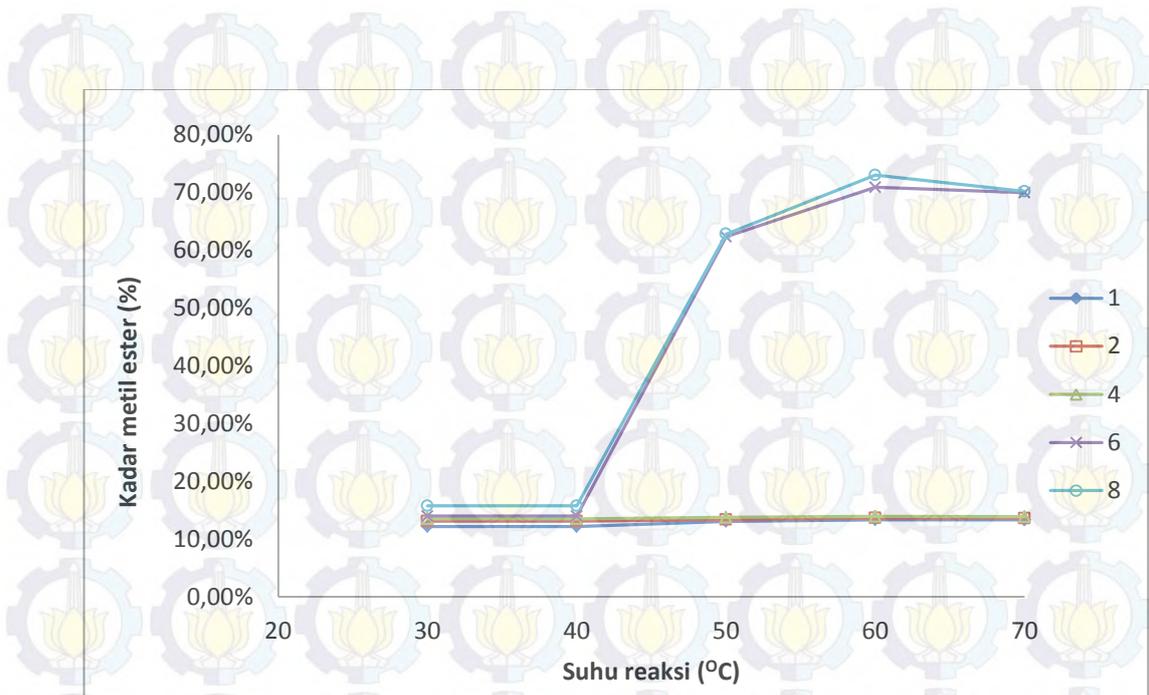
Semakin tinggi suhu reaksi, maka akan semakin rendah viskositas kinematik dari metil ester sehingga mengindikasikan semakin banyak kadar metil ester yang telah terkonversi. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 berikut ini.



Gambar 4.10. Pengaruh suhu reaksi terhadap % kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis Mg(OH)<sub>2</sub> (%w/w)



Gambar 4.11. Pengaruh suhu reaksi terhadap % kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis Ca(OH)<sub>2</sub> (%w/w)



Gambar 4.12. Pengaruh suhu reaksi terhadap % kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  (%w/w)

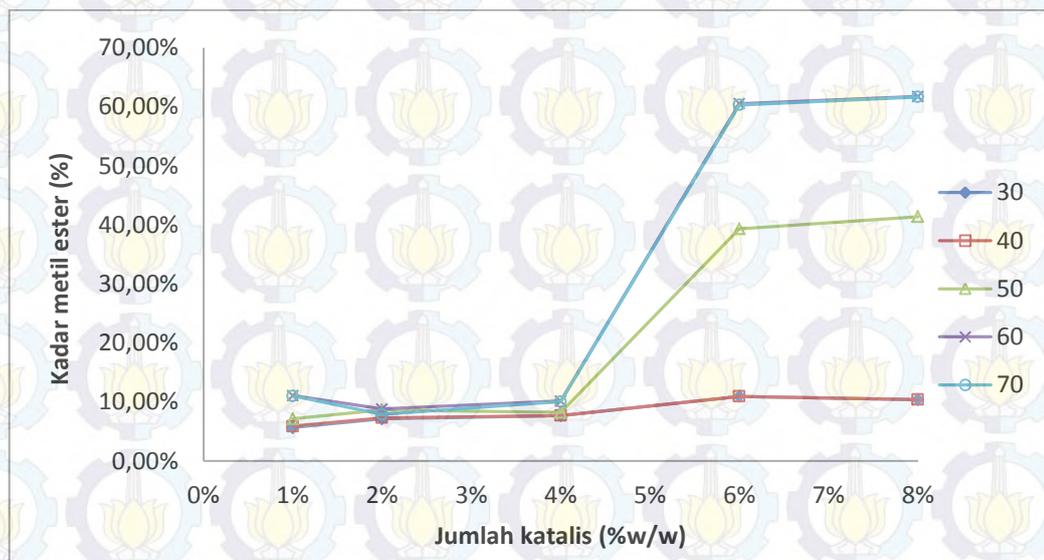
Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 menunjukkan bahwa kadar metil ester yang diperoleh semakin meningkat dengan adanya kenaikan suhu reaksi transesterifikasi, hal ini dikarenakan jumlah metil ester yang terbentuk semakin banyak. Namun pada suhu  $70^\circ\text{C}$ , nilai kadar metil ester semakin menurun. Hal ini disebabkan karena suhu reaksi transesterifikasi yang telah melampaui titik didih dari methanol. Suhu reaksi di atas titik didih methanol lebih banyak dihindari, karena suhu reaksi yang tinggi mempercepat terjadinya reaksi saponifikasi sebelum reaksi alkoholisis selesai. (Dorado, dkk., 2004)

Kadar metil ester terbaik yang diperoleh pada penelitian ini dengan menggunakan katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  secara berturut – turut yaitu 61,75%; 62,66% dan 73,03% pada suhu reaksi  $60^\circ\text{C}$  dengan % berat katalis sebesar 8% (w/w).

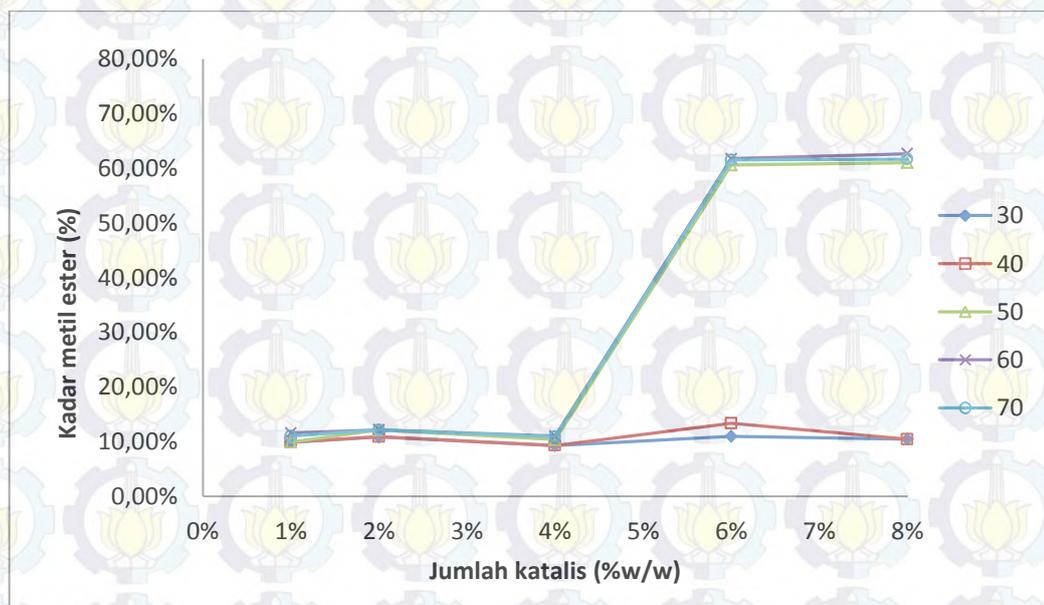
#### 4.5. Pengaruh Jumlah Katalis terhadap % Kadar Metil Ester

Jumlah katalis sangat berperan dalam proses transesterifikasi, karena katalis membantu konversi minyak jarak pagar menjadi metil ester. Peran katalis

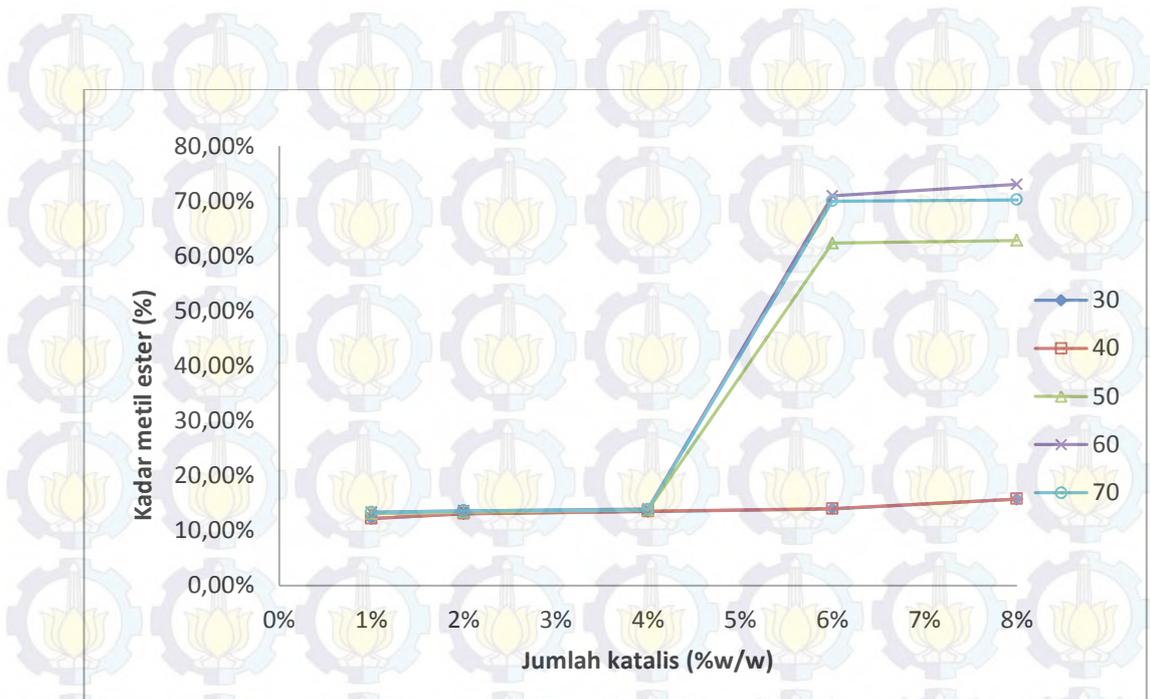
dalam proses transesterifikasi ini adalah untuk mempercepat reaksi transesterifikasi sendiri, dimana katalis akan menurunkan energi aktivasi (Levenspiel, 1999). Pada penelitian ini, peran katalis dapat dilakukan dengan eksperimen pada variasi suhu dan berat katalis yang telah ditentukan selama 6 jam untuk masing – masing katalis. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14 dan 4.15 berikut ini.



Gambar 4.13. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester dengan katalis  $Mg(OH)_2$  untuk berbagai suhu reaksi ( $^{\circ}C$ )



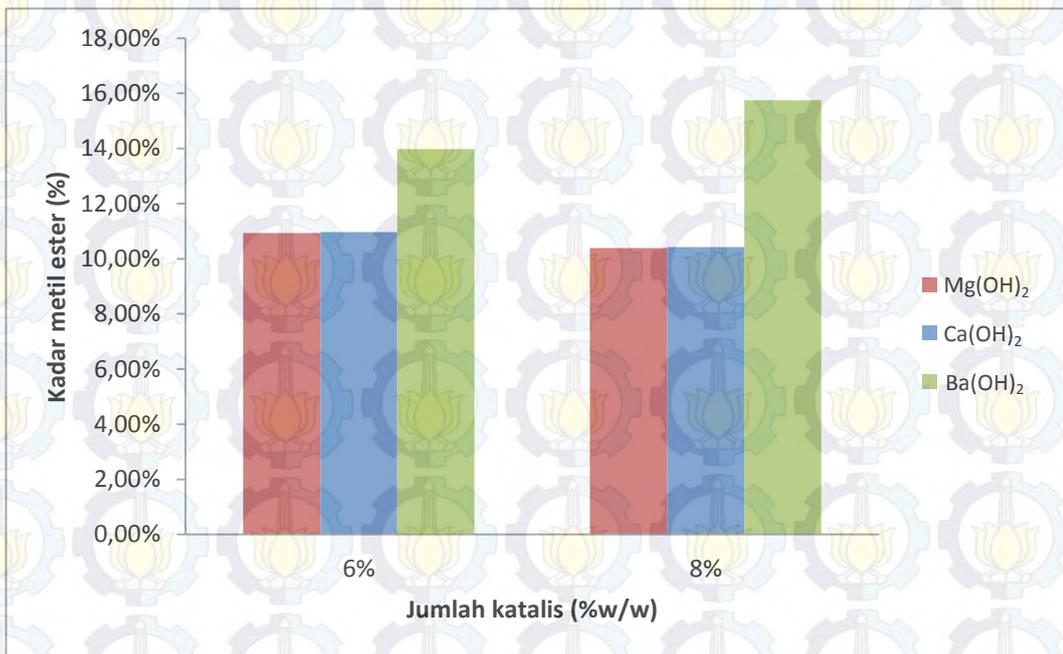
Gambar 4.14. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester dengan katalis  $Ca(OH)_2$  untuk berbagai suhu reaksi transesterifikasi( $^{\circ}C$ )



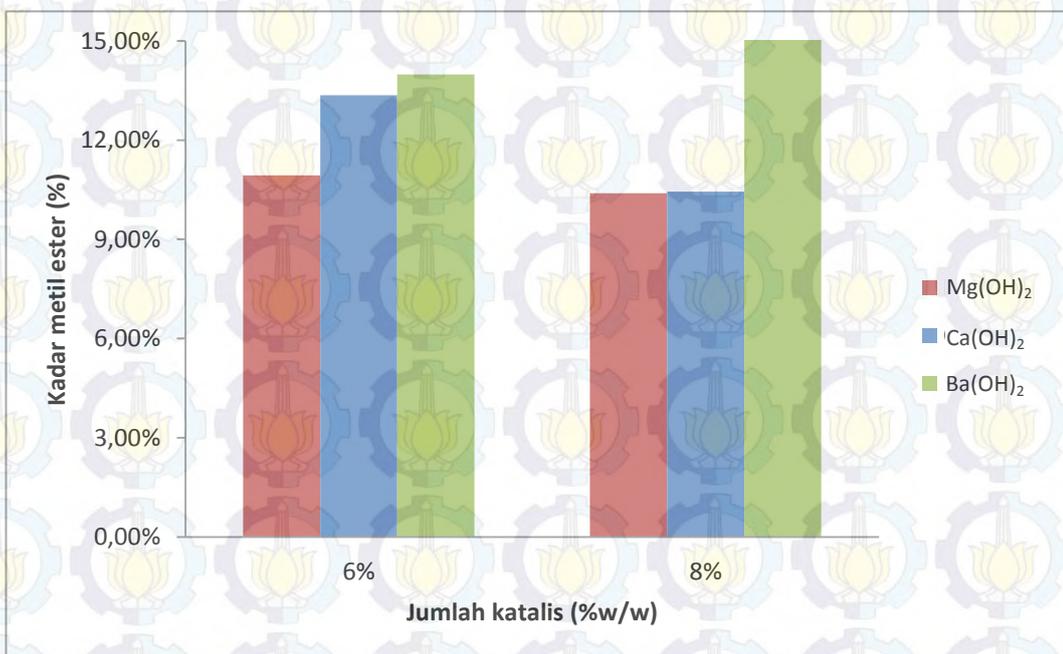
Gambar 4.15. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester dengan katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  untuk berbagai suhu reaksi transesterifikasi ( $^{\circ}\text{C}$ )

Gambar 4.13, 4.14 dan 4.15 tersebut menunjukkan bahwa peran katalis dengan berat katalis sebesar 1%, 2% dan 4% pada suhu reaksi 30 – 70  $^{\circ}\text{C}$  belum memberikan peran penting atau dengan kata lain pada berat katalis tersebut, katalis belum bekerja aktif untuk membantu konversi minyak menjadi metil ester. Hal ini ditandai dengan kadar biodiesel yang sangat kecil yaitu berkisar antara 5,64% hingga 13,78%. Hal ini dikarenakan pada reaksi transesterifikasi dengan katalis heterogen jumlah katalis yang digunakan lebih banyak yaitu diatas 6% (Liu, dkk, 2008).

Penambahan katalis sebesar 6% dan 8% pada suhu 30  $^{\circ}\text{C}$  dan 40  $^{\circ}\text{C}$  menunjukkan profil seperti terlihat pada gambar 4.16 dan 4.17 berikut ini.



Gambar 4.16. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester pada suhu reaksi 30°C



Gambar 4.17. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester pada suhu 40°C

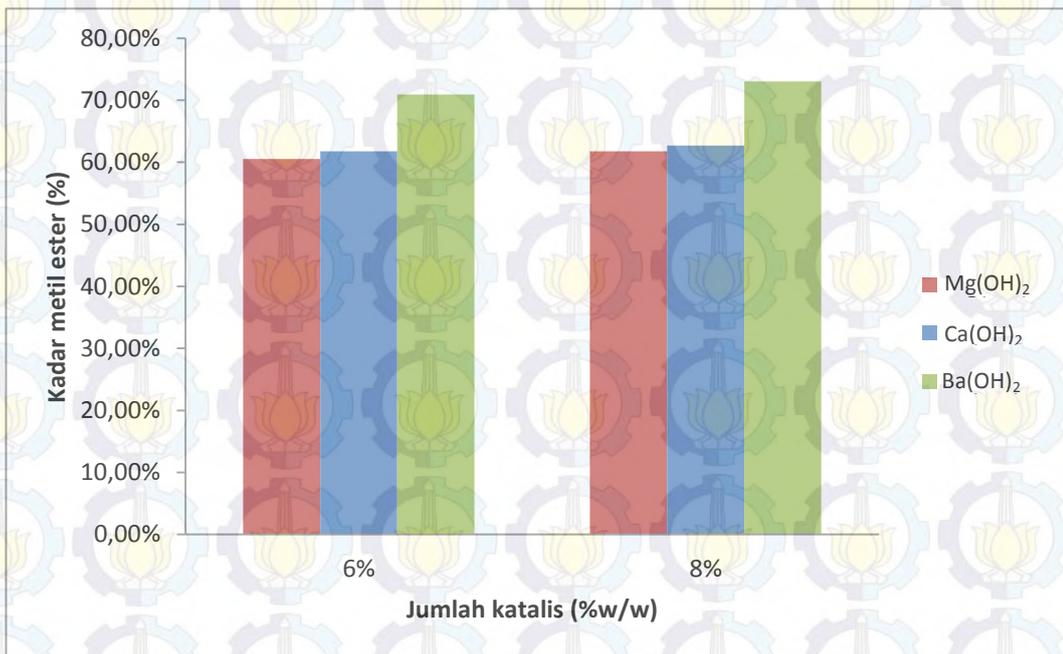
Gambar 4.16 dan 4.17 ini menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan berat katalis belum meningkatkan kadar metil ester yang diperoleh.

Kadar metil ester yang diperoleh pada suhu tersebut berkisar antara 10,36% - 15,76%. Hal ini dikarenakan pada suatu proses reaksi kimia membutuhkan pengaruh kenaikan suhu untuk mempercepat reaksi (Levenspiel, 1999). Kenaikan suhu ini akan berakibat pada meningkatnya tumbukan antar molekul sehingga meningkatkan energi kinetik molekul – molekul yang terdapat pada reaksi tersebut.

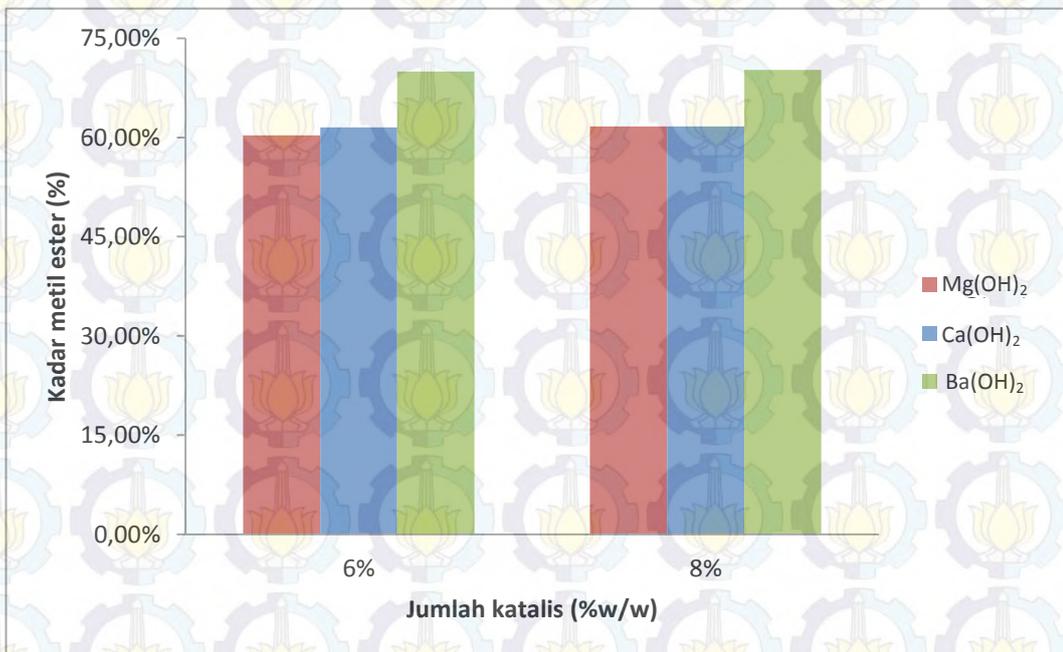
Sedangkan dengan penambahan katalis sebesar 6% dan 8% yang diterapkan pada variasi suhu lainnya, yaitu 50 °C, 60 °C, dan 70 °C terdapat perubahan nilai kadar metil ester yang diperoleh. Perubahan ini menunjukkan adanya peningkatan yang sangat signifikan. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.18, 4.19 dan 4.20 berikut ini.



Gambar 4.18. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester pada suhu 50°C



Gambar 4.19. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester pada suhu 60°C



Gambar 4.20. Pengaruh Jumlah Katalis (%w/w) terhadap kadar metil ester pada suhu 70°C

Gambar 4.18, 4.19 dan 4.20 tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai kadar metil ester yang semakin signifikan, yaitu meningkat berkisar antara

39,31% – 73,03%. Peningkatan jumlah katalis akan meningkatkan konstanta kecepatan reaksi, sehingga akan mempercepat reaksi membentuk produk (Levenspiel, 1999). Namun bukan berarti suatu reaksi harus menggunakan jumlah katalis dalam jumlah besar untuk meningkatkan kadar metil ester, karena semakin banyak katalis yang digunakan ternyata akan menurunkan kadar metil ester yang diperoleh dengan kata lain jumlah katalis yang digunakan harus ditentukan terlebih dahulu titik optimum dari jumlah katalis.

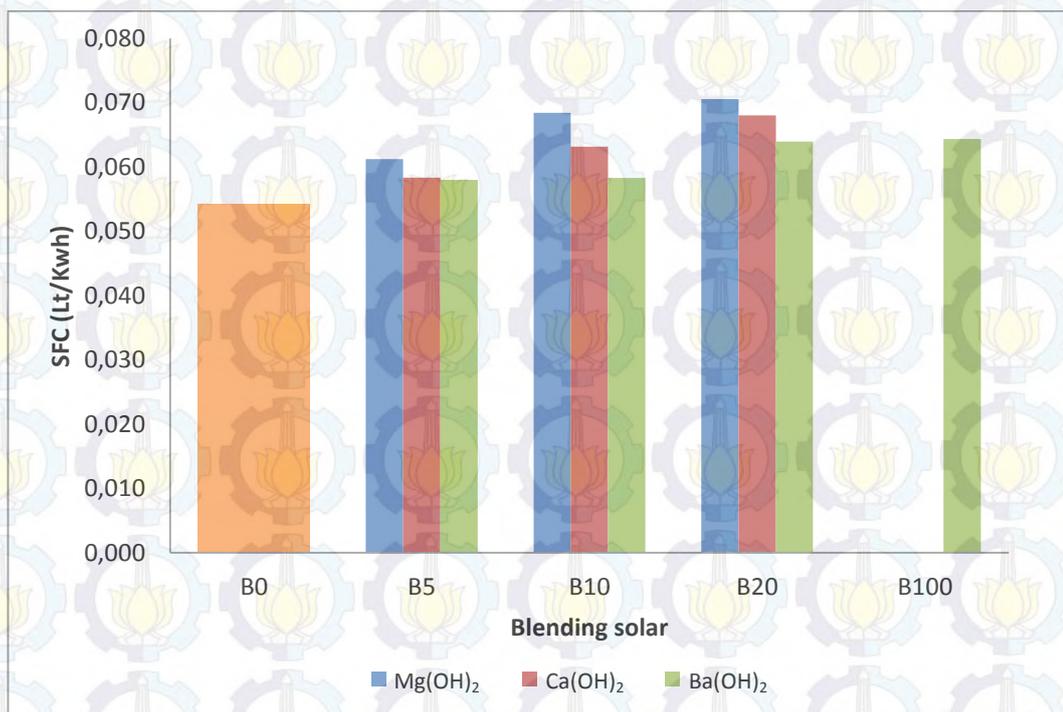
#### **4.6. Pengaruh molar rasio terhadap reaksi transesterifikasi**

Rasio stoikiometri pada reaksi transesterifikasi untuk metanol dan minyak adalah 3 mol metanol dan 1 mol minyak. Dimana akan memproduksi 3 mol metil ester dan 1 mol gliserol. Kelebihan dari alkohol ini digunakan selama proses reaksi transesterifikasi untuk menyakinkan bahwa minyak secara keseluruhan akan terkonversi menjadi metil ester. Selain itu, kelebihan alkohol yang digunakan akan meningkatkan konversi metil ester yang dihasilkan dan reaksi akan berjalan dalam waktu yang pendek (Koh dan Ghazi, 2011).

Pada penelitian ini digunakan molar rasio minyak dengan metanol 1:6 dan digunakan katalis heterogen. Besarnya rasio molar dan katalis padat juga berpengaruh pada terkonversinya minyak menjadi biodiesel. Semakin banyak jumlah metanol yang ditambahkan pada katalis yang digunakan maka katalis yang digunakan akan mudah terbentuk senyawa metoksi.

#### **4.7. Pengaruh Blending Solar terhadap Kebutuhan Bahan Bakar (*Specific Fuel Consumption*)**

Pengujian mesin diesel dilakukan dengan putaran mesin 1200 rpm dan beban mesin sebesar 1050 watt yang diperoleh dari 3 buah heater sebagai sumber dayanya. Biodiesel yang digunakan merupakan blending antara solar dengan FAME sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Hasil dari uji mesin tersebut dapat dilihat pada gambar 4.21 berikut ini.



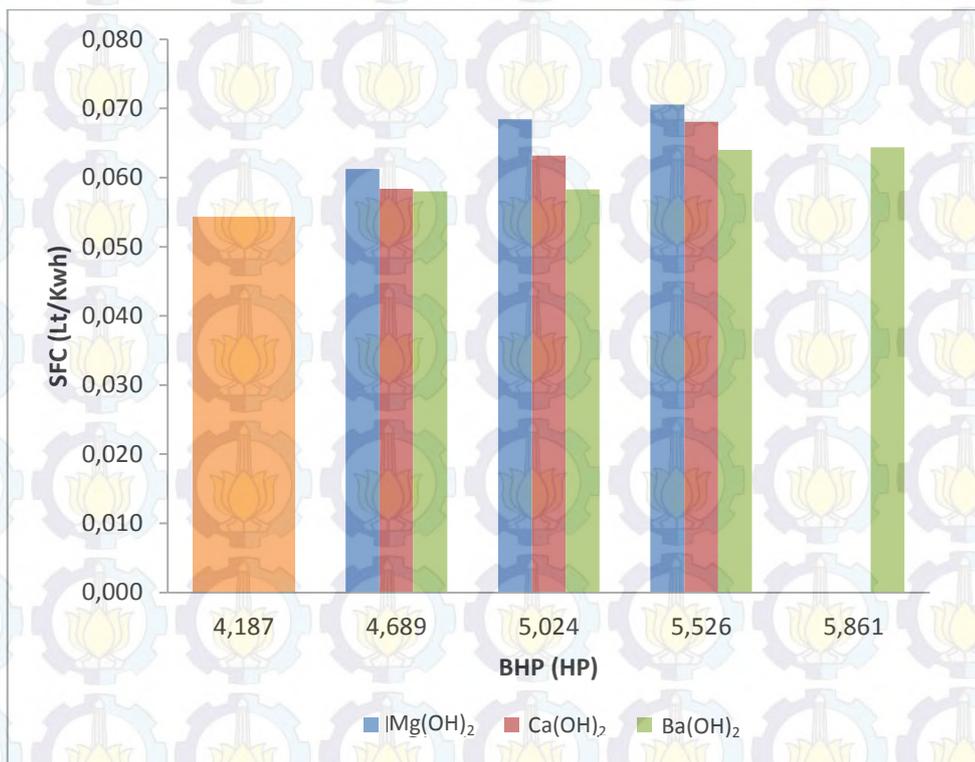
Gambar 4.21. Pengaruh *Blending* solar terhadap Konsumsi Bahan Bakar (SFC)

Gambar 4.21 tersebut merupakan hubungan antara pengaruh *blending* solar dengan SFC. Gambar tersebut menunjukkan bahwa SFC adalah indikator keefektifan suatu motor bakar torak dalam menggunakan bahan bakar yang tersedia untuk menghasilkan daya. Dengan demikian, semakin kecil SFC maka dapat dikatakan motor semakin hemat bahan bakar. SFC yang ditunjukkan pada gambar tersebut, untuk masing – masing katalis semakin meningkat dengan peningkatan jumlah biodiesel yang ditambahkan/diblending pada solar SFC untuk masing – masing katalis semakin meningkat dari 0,0580 hingga 0,0706 jika dibandingkan dengan solar yang hanya 0,0543. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu nilai kalor dari biodiesel lebih besar jika dibandingkan dengan solar, kemudian viskositas biodiesel juga lebih besar jika dibandingkan dengan solar.

*Blending* solar terbesar, yaitu B100, yang merupakan biodiesel murni tanpa campuran solar, pada katalis Mg(OH)<sub>2</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub> tidak dapat menghidupkan mesin diesel. Namun untuk katalis Ba(OH)<sub>2</sub>, dengan menggunakan B100, mesin masih dapat menyala, dengan konsumsi bahan bakar yang digunakan lebih banyak jika dibandingkan dengan variasi *blending* yang lain.

#### 4.8. Pengaruh Daya (*Brake Horse Power*) terhadap Kebutuhan Bahan Bakar (*Specific Fuel Consumption*)

Daya motor adalah besar kerja motor yang diberikan ke poros penggerak. Besaran ini ditentukan oleh putaran mesin diesel serta torsi yang dihasilkan. BHP sendiri juga berkaitan dengan kebutuhan bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya tersebut. Seperti terlihat pada gambar 4.22.



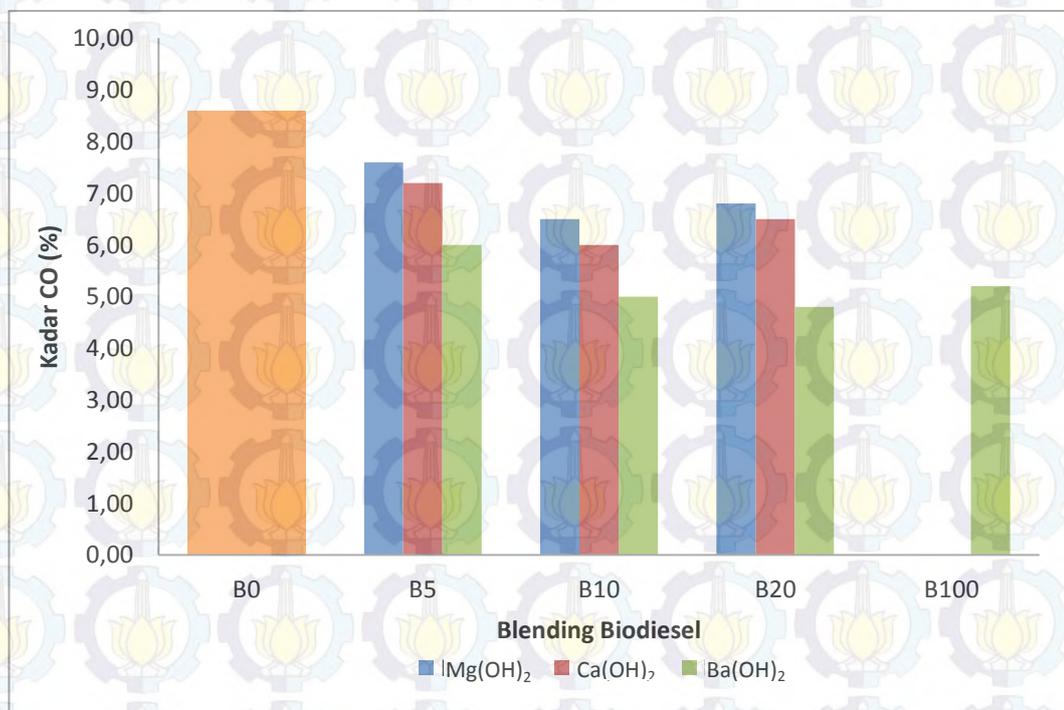
Gambar 4.22. Pengaruh BHP terhadap SFC

Gambar 4.22 tersebut, menunjukkan bahwa dengan semakin besar daya yang digunakan untuk kerja motor maka konsumsi bahan bakar yang digunakan juga akan semakin meningkat. Penggunaan beberapa jenis katalis juga berpengaruh pada konsumsi bahan bakar yang digunakan. Dengan semakin meningkatnya daya, katalis Ba(OH)<sub>2</sub> cenderung lebih hemat jika dibandingkan dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub>. Hal ini dapat diketahui dengan kecilnya SFC yang dibutuhkan dengan menggunakan katalis Ba(OH)<sub>2</sub>, yaitu sebesar 0,0640 sedangkan pada katalis Mg(OH)<sub>2</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub> berturut – turut adalah 0,0706 dan 0,0681. Selain itu pada daya terbesar yaitu 5,861, katalis Mg(OH)<sub>2</sub>

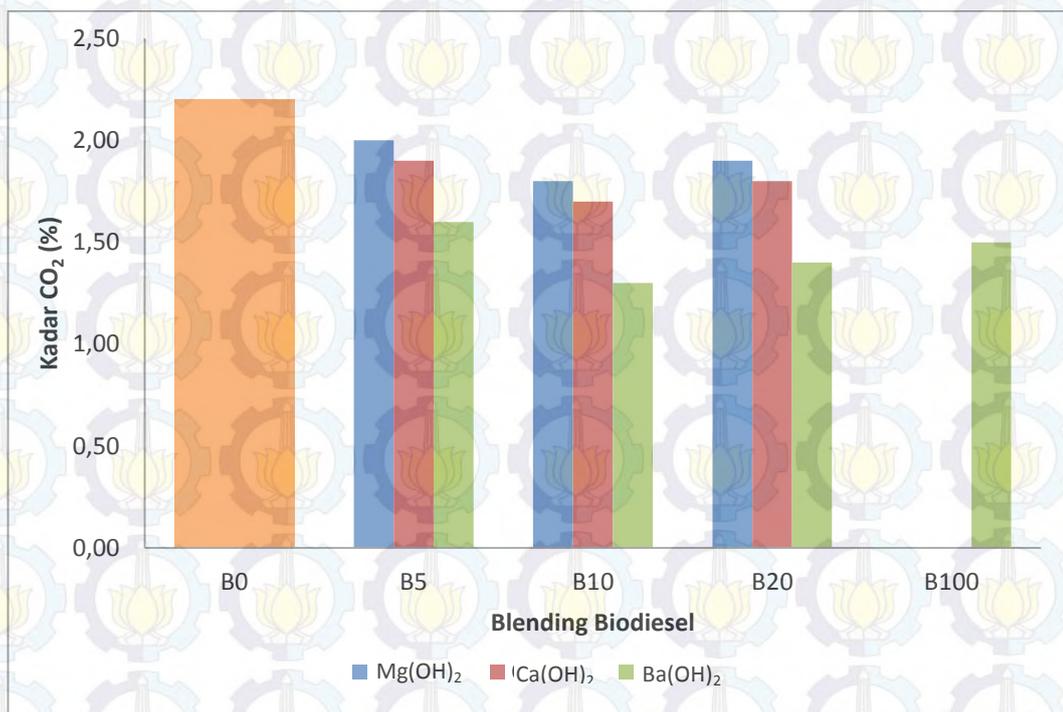
dan  $\text{Ca(OH)}_2$  tidak mampu menghidupkan mesin. Hal ini dikarenakan kedua katalis tersebut memiliki viskositas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan katalis  $\text{Ba(OH)}_2$ .

#### 4.9. Pengaruh *Blending* solar terhadap Kadar Emisi Gas Buang

Uji mesin dilakukan untuk mengetahui performa mesin dan kadar emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Kadar emisi yang dapat diamati adalah CO dan  $\text{CO}_2$ . Selain itu dapat juga dilihat kadar  $\text{O}_2$  yang dihasilkan. Seperti terlihat pada gambar 4.23 dan 4.24 berikut ini.



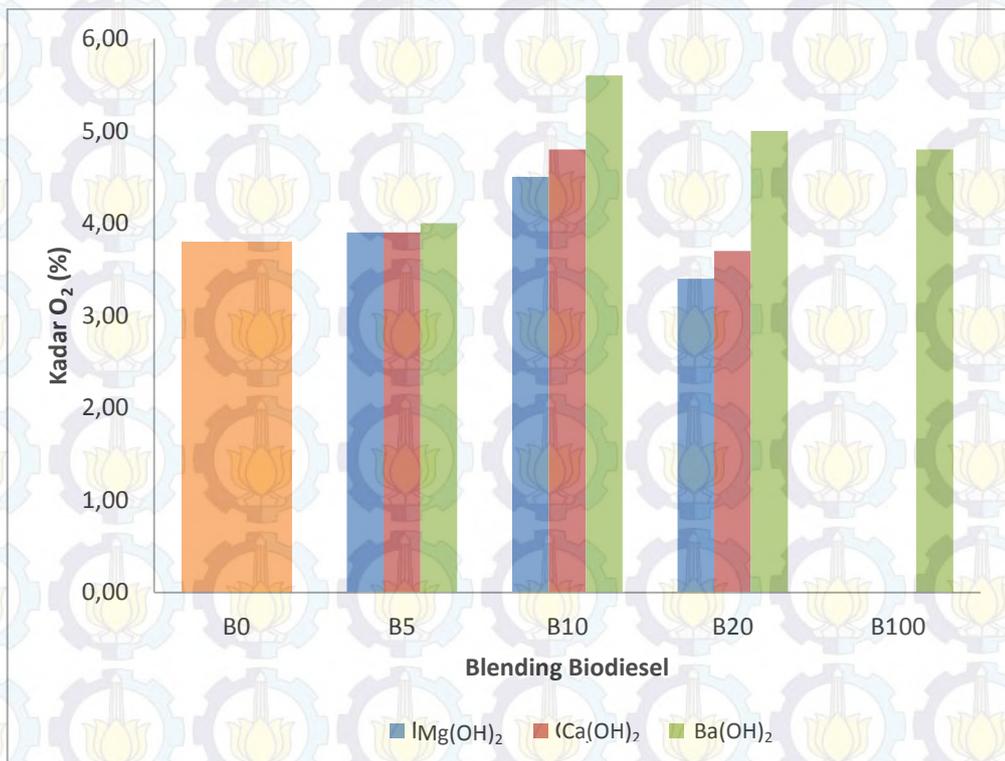
Gambar 4.23. Pengaruh *Blending* Solar terhadap Kadar CO



Gambar 4.24. Pengaruh *Blending* Solar terhadap Kadar CO<sub>2</sub>

Gambar 4.23 dan 4.24 tersebut menggambarkan bahwa dengan adanya penambahan katalis Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> dan Ba(OH)<sub>2</sub> dapat menurunkan kadar emisi gas CO dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tersebut. Penurunan kadar CO dan CO<sub>2</sub> untuk katalis Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> dan Ba(OH)<sub>2</sub> pada biodiesel cenderung semakin menurun sekitar 10%. Dimana penurunan paling tinggi berada pada solar yang diblending sebanyak 10%. Sehingga penggunaan katalis tersebut terbukti dapat menurunkan kadar emisi gas buang.

Penurunan kadar emisi gas buang khususnya CO dan CO<sub>2</sub> tersebut juga ditandai dengan meningkatnya kadar O<sub>2</sub> yang dihasilkan. Seperti terlihat pada gambar 4.25 berikut ini.



Gambar 4.25. Pengaruh *Blending* Solar terhadap Kadar O<sub>2</sub>

Gambar 4.22 tersebut menunjukkan kadar O<sub>2</sub> yang meningkat karena adanya penurunan kadar emisi gas buang. Peningkatan sekitar 10% terjadi pada biodiesel dengan kadar 10% khususnya pada katalis Ba(OH)<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan kadar CO dan CO<sub>2</sub> yang merupakan hasil pembakaran bahan bakar menurun kadarnya sehingga menyebabkan kenaikan pada kadar O<sub>2</sub> yang dihasilkan.

#### 4.10. Karakteristik Metil Ester

##### 4.10.1 Densitas

Densitas metil ester dapat diperoleh dengan proses gravimetri menggunakan piknometer. Dari hasil pengukuran diperoleh kisaran untuk densitas adalah 840 – 860 kg/m<sup>3</sup>. Maka kisaran tersebut telah berada dalam kisaran densitas biodiesel dalam SNI 04-7182-2006, yaitu 850 -890 kg/m<sup>3</sup>.

##### 4.10.2 Viskositas Kinematik

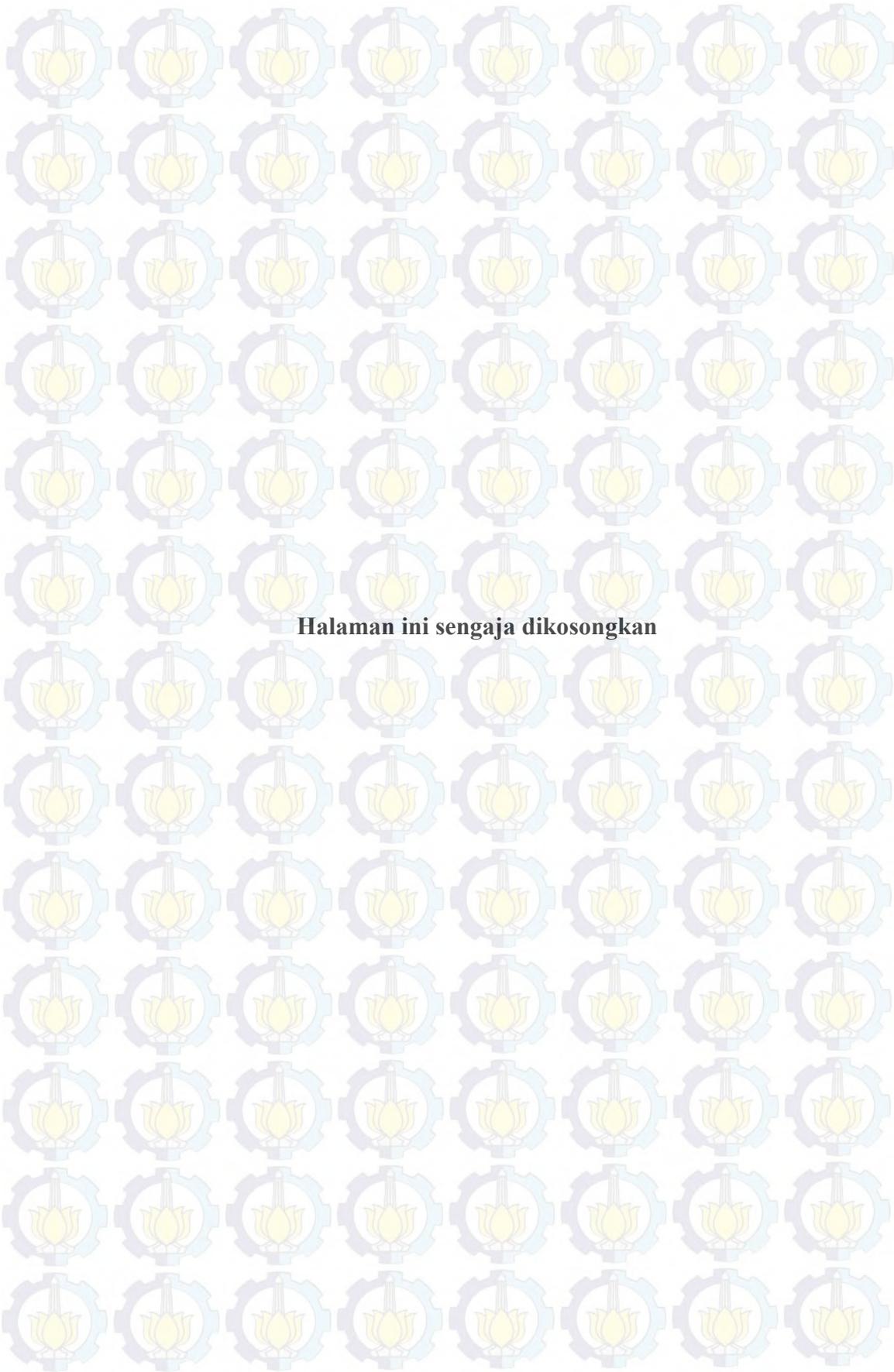
Viskositas kinematik diperoleh dengan pengukuran menggunakan viskosimeter Ostwald. Dimana viskositas kinematik merupakan fungsi suhu dan

besarnya diukur pada suhu 40°C (Rashid dan Anwar, 2008). Viskositas kinematik diukur pada suhu 40°C dengan kisaran sesuai dengan SNI 04-7182-2006, adalah antara 2,3 – 6 mm<sup>2</sup>/s. Viskositas yang diperoleh dari penelitian ini adalah 9,2737 cSt untuk katalis Mg(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% pada suhu 60°C, 9,0758 cSt untuk katalis Ca(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% pada suhu 60°C dan 7,1059 cSt untuk katalis Ba(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% pada suhu 60°C. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak telah terkonversi menjadi metil ester namun kadarnya tergolong kecil.

#### 4.10.3 Titik Tuang dan Titik Nyala

Titik tuang adalah Titik tuang menunjukkan kemampuan suatu bahan bakar untuk digunakan pada cuaca dingin serta daya tahan pada saat penyimpanan. Titik tuang ini dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan (angka iodium). Semakin tinggi ketidakjenuhan, titik tuang akan semakin rendah (Knothe, 2005). Titik tuang juga dipengaruhi oleh panjang rantai karbon. Semakin panjang rantai karbon, semakin tinggi titik tuangnya. Menurut standar SNI 04-7182-2006, titik tuang metil ester maksimal sebesar 28 °C. Titik tuang dari metil ester hasil yang dilakukan adalah 8 – 15,2 °C. Data tersebut telah sesuai dengan SNI yang ada.

Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Titik nyala yang tinggi akan memudahkan proses penanganan, penyimpanan dan pengangkutan karena lebih tidak mudah terbakar pada suhu ruang. Titik nyala yang diperoleh pada penelitian ini adalah berkisar 112 – 224 °C.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Dari data eksperimen yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  dapat dijadikan sebagai alternatif katalis dan aditif pada proses reaksi transesterifikasi.
2. Viskositas yang diperoleh dari penelitian ini adalah 9,2737 cSt untuk katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ\text{C}$ , 9,0758 cSt untuk katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ\text{C}$  dan 7,1059 cSt untuk katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  sebesar 8% pada suhu  $60^\circ\text{C}$ .
3. Kadar metil ester terbaik yang diperoleh pada penelitian ini dengan menggunakan katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  secara berturut – turut yaitu 61,75%; 62,66% dan 73,03% pada suhu reaksi  $60^\circ\text{C}$  dengan % berat katalis sebesar 8% (w/w).
4. SFC semakin meningkat dengan peningkatan jumlah biodiesel yang ditambahkan/diblending pada solar SFC untuk masing – masing katalis semakin meningkat dari 0,0580 hingga 0,0706 jika dibandingkan dengan solar yang hanya 0,0543.
5. SFC yang dibutuhkan dengan menggunakan katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  lebih hemat jika dibandingkan dengan katalis lainnya, yaitu sebesar 0,0640 sedangkan pada katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  berturut – turut adalah 0,0706 dan 0,0681. Selain itu pada daya terbesar yaitu 5,861, katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  mampu menyalakan mesin, sedangkan katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tidak mampu menghidupkan mesin.
6. Kadar CO dan  $\text{CO}_2$  untuk katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  pada biodiesel cenderung semakin menurun sekitar 10%. Sehingga kadar  $\text{O}_2$

mengalami peningkatan sekitar 10% terjadi pada biodiesel dengan kadar 10% khususnya pada katalis  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

## 5.2 SARAN

Penelitian ini masih membutuhkan kajian lebih lanjut untuk perbaikan diantaranya adalah:

1. Perlu ditambahkan variasi molar ratio minyak dan metanol pada proses transesterifikasi agar dapat diketahui lebih lanjut pengaruhnya pada katalis  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$
2. Variasi putaran mesin pada uji mesin diesel perlu dilakukan juga untuk mengetahui pengaruh daya dan SFC pada mesin.

## LAMPIRAN A

### HASIL ANALISA BAHAN BAKU

Minyak jarak pagar yang digunakan sebagai bahan baku dilakukan pengujian kadar FFA terlebih dahulu untuk mengetahui besarnya FFA dalam bahan baku. Hal ini dilakukan untuk menentukan langkah proses berikutnya apakah memerlukan reaksi esterifikasi terlebih dahulu ataukah dapat langsung melakukan proses reaksi transesterifikasi. Analisa ini dilakukan dengan menambahkan alkohol netral pada sejumlah sampel minyak yang kemudian dilakukan pemanasan di bawah titik didih alkohol hingga minyak dan alkohol terlarut. Kemudian campuran tersebut dititrasi dengan basa (NaOH/KOH) dengan konsentrasi 0,1N dengan indikator *phenolptalein* (pp). Dari analisa tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

**Tabel A.1. Kadar FFA dalam Minyak Jarak**

No Minyak	Pengulangan	Volume NaOH (ml)	FFA (%)	FFA (%) rata-rata
1	1	1,5	0,2115	0,2021
	2	1,4	0,1974	
	3	1,4	0,1974	
2	1	1	0,2014	0,1880
	2	0,9	0,1813	
	3	0,9	0,1813	
3	1	2,1	0,4230	0,4297
	2	2,2	0,4431	
	3	2,1	0,4230	



Halaman ini sengaja dikosongkan

## LAMPIRAN B PERHITUNGAN

### B.1. Perhitungan Kebutuhan $H_3PO_4$ dalam Tahap Degumming

Perhitungan kadar degumming ini dilakukan untuk mengurangi/menghilangkan gum/kotoran – kotoran yang masih terdapat pada bahan baku (minyak jarak pagar).

#### Minyak Jarak Pagar

$$\rho = 0,91 \text{ gr/ml}$$

$$BM = 800 \text{ gr/grmol}$$

#### Asam Fosfat ( $H_3PO_4$ )

$$\rho = 1,688 \text{ gr/ml}$$

$$BM = 98 \text{ gr/grmol}$$

Kebutuhan  $H_3PO_4$  sebesar 0,1 % berat terhadap minyak jarak pagar

$$V_{\text{minyak}} = 200 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{minyak}} &= \rho_{\text{minyak}} \cdot V_{\text{minyak}} \\ &= 0,91 \text{ gr/ml} \cdot 200\text{ml} = 182 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume } H_3PO_4 \text{ 85\% yang dibutuhkan} &= \frac{0,1\% \cdot m_{\text{minyak}}}{\rho_{H_3PO_4}} \\ &= \frac{0,1\% \cdot 182 \text{ gr}}{1,688 \text{ gr/ml}} \\ &= 0,1078 \text{ ml} \end{aligned}$$

### B.2. Perhitungan Kadar Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid – FFA*)

Perhitungan dan analisa Kadar FFA dilakukan setelah proses degumming, sehingga diharapkan sampel minyak yang digunakan telah murni dari gum/kotoran – kotoran lainnya. Perhitungan ini menggunakan metode titrimetri dengan larutan standar baku berupa NaOH 0,1 N dan bantuan indikator *phenolptalein* (pp). Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui langkah proses pembuatan biodiesel selanjutnya.

### NaOH

Konsentrasi = 0,1 N

### Minyak

$m_{\text{minyak}} = 14 \text{ gr}$

### Pelarut (Etanol)

$V_{\text{etanol}} = 25 \text{ ml}$

### Asam lemak

Asam lemak pada minyak jarak pagar didominasi oleh asam oleat.

$BM_{\text{asam lemak}} = 282$

Besarnya kadar asam lemak dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{FFA} = \frac{V \text{ titran} \times N \text{ titran} \times \text{BM as.oleat}}{m_{\text{minyak}} \times 1000} \times 100\% \quad (\text{E.1})$$

Hasil perhitungan kadar FFA minyak jarak pagar sebagaimana tertera pada tabel A.1

## **B.3. Perhitungan Rasio Molar Minyak – Metanol**

### Minyak Jarak Pagar

$\rho = 0,91 \text{ gr/ml}$

$BM = 800 \text{ gr/grmol}$

### Minyak Metanol 99,9%

$\rho = 0,789 \text{ gr/ml}$

$BM = 32 \text{ gr/grmol}$

Misal:

$V_{\text{minyak}} = 100 \text{ ml}$

$m_{\text{minyak}} = 91 \text{ gr}$

$$\text{mol}_{\text{minyak}} = \frac{m_{\text{minyak}}}{BM_{\text{minyak}}} = \frac{91}{800} = 0,11375$$

untuk rasio molar minyak : metanol = 1 : 6, maka:

$\text{mol}_{\text{metanol}} = 6 \times \text{mol}_{\text{minyak}}$

$= 6 \times 0,11375$

$= 0,6825$

$$\begin{aligned}
 m_{\text{metanol}} &= \text{mol}_{\text{metanol}} \times \text{BM}_{\text{metanol}} \\
 &= 0,6825 \times 32 \\
 &= 21,84 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$V_{\text{metanol}} = \frac{m_{\text{metanol}}}{\rho_{\text{metanol}}} = \frac{21,84}{0,789} = 27,5827 \text{ ml}$$

Tabel perhitungan ditunjukkan pada tabel C.1

#### B.4. Perhitungan Berat Katalis terhadap Minyak

Penelitian ini menggunakan % berat katalis terhadap minyak, yaitu 1, 2, 4, 6 dan 8%. Perhitungan kebutuhan katalis tersebut menggunakan persamaan berikut:

$$m_{\text{katalis}} = \% \text{ katalis} \times m_{\text{minyak}} \quad (\text{E.2})$$

Kebutuhan katalis 1% terhadap minyak berdasarkan persamaan tersebut adalah 0,91 gr dalam 100 ml atau 91 gr minyak jarak pagar. Hasil perhitungan kebutuhan katalis seperti ditunjukkan pada tabel C.2

#### B.5. Perhitungan Viskositas Kinematik Metil ester

Pengukuran viskositas kinematik menggunakan standarisasi dengan menggunakan air pada suhu 30, 40, 50, dan 60 °C dengan persamaan berikut:

$$v = t \times \rho \times K \quad (\text{E.3})$$

Dimana dari persamaan tersebut didapatkan nilai K yang merupakan konstanta viskositas kinematik dengan menggunakan *Viscosimeter Ostwald*. Nilai K yang diperoleh digunakan untuk menentukan viskositas kinematik pada biodiesel yang dihasilkan. Hasil perhitungan viskositas kinematik biodiesel disajikan pada tabel C.3

#### B.6. Perhitungan Densitas Metil ester

Pengukuran densitas biodiesel menggunakan metode gravimetri dengan alat piknometer. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\rho = \frac{m_{\text{piknometer+biodiesel}} - m_{\text{piknometer kosong}}}{V_{\text{biodiesel}}} \quad (\text{E.4})$$

Hasil perhitungan densitas biodiesel disajikan pada tabel C.4

### B.7. Perhitungan Kadar Metil ester

Penentuan kadar biodiesel diperoleh dengan melakukan pendekatan viskositas kinematik sebagaimana yang dilakukan oleh Tesfa, dkk (2010) melalui Persamaan berikut ini:

$$\ln(\eta_{\max}) = x_1 \ln(\eta_1) + x_2 \ln(\eta_2) \quad (\text{E.5})$$

$$x_2 = \frac{\ln(\eta_1) - \ln(\eta_{\max})}{\ln(\eta_1) - \ln(\eta_2)} \quad (\text{E.6})$$

Dimana  $\eta_{\max}$  adalah viskositas kinematik campuran, data ini diperoleh dari hasil pengukuran viskositas dengan menggunakan *viscosimeter oswald*.  $\eta_1$  adalah viskositas kinematik minyak jarak pagar murni, yaitu sebesar 39,8219 cSt. Dan  $\eta_2$  adalah viskositas kinematik metil ester murni, yaitu sebesar 4,5044 cSt,  $x_1$  dan  $x_2$  adalah fraksi massa atau volume dari komponen 1 dan 2. Dari pendekatan tersebut dibuat korelasi antara viskositas kinematik dengan kadar biodiesel. Hasil perhitungan korelasi antara viskositas dan kadar biodiesel disajikan pada tabel C.5

### B.8. Perhitungan Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar diperoleh dari banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk 1 ml bahan bakar mengalir. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Laju konsumsi bahan bakar (L/j)} = \frac{\text{konsumsi bahan bakar (ml)} \cdot 3600}{\text{waktu (s)} \cdot 1000} \quad (\text{E.6})$$

Hasil perhitungan disajikan pada tabel C.6

### B.9. Perhitungan Daya Motor Diesel (*Brake Horse Power – BHP*)

BHP ini diperoleh dari besarnya torsi yang dihasilkan dan putaran mesin yang digunakan saat uji mesin. Besarnya torsi yang dihasilkan telah ditentukan sebesar 2,5; 2,8; 3; 3,3; dan 3,5 untuk setiap *blending* solar. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{BHP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60 \cdot 75} \quad (\text{E.7})$$

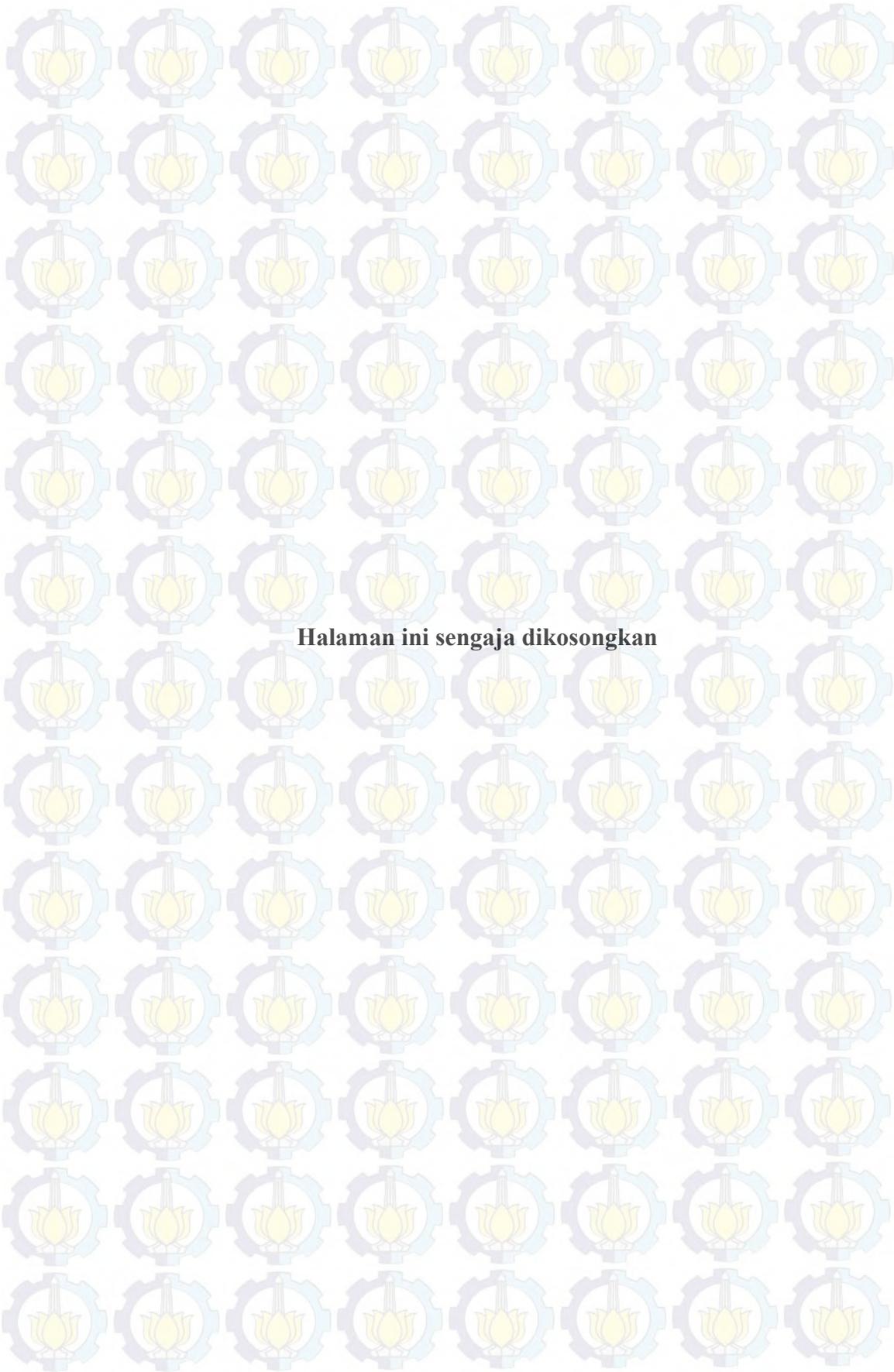
Dimana  $n$  adalah putaran mesin yang digunakan yaitu sebesar 1200 rpm dan  $T$  adalah torsi yang dihasilkan sesuai dengan *blending* solar. Hasil perhitungan disajikan pada tabel C.7

#### **B.10. Perhitungan *Specific Fuel Consumption (SFC)* – Konsumsi Bahan Bakar**

SFC merupakan banyaknya konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan daya motor. Persamaan yang digunakan adalah:

$$SFC (L/Kwh) = \frac{\text{Laju konsumsi (L/j)}}{BHP (Kw)} \quad (E.7)$$

Hasil perhitungan disajikan pada tabel C.8



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## LAMPIRAN C

### TABEL HASIL PERHITUNGAN

#### C.1. Perhitungan Rasio Molar

Volume minyak dan metanol yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:

**Tabel C.1.1. Volume minyak dan metanol pada reaksi transesterifikasi**

Rasio Molar	Volume minyak (ml)	Volume metanol (ml)
1 : 6	100	27,6

#### C.2. Perhitungan Kebutuhan Katalis

Perhitungan kebutuhan katalis dalam 100 ml atau 91 gr minyak jarak pagar untuk masing – masing katalis adalah sebagai berikut:

**Tabel C.2.1. Berat katalis untuk masing – masing konsentrasi dan jenis katalis**

Jenis katalis	% (w/w) katalis	Massa (gr)
Mg(OH) <sub>2</sub>	1%	0,91
	2%	1,82
	4%	3,64
	6%	5,46
	8%	7,28
Ca(OH) <sub>2</sub>	1%	0,91
	2%	1,82
	4%	3,64
	6%	5,46
	8%	7,28
Ba(OH) <sub>2</sub>	1%	0,91
	2%	1,82
	4%	3,64
	6%	5,46
	8%	7,28

### C.3. Perhitungan Viskositas Kinematik Metil ester

Perhitungan viskositas kinematik menggunakan alat viskosimeter ostwald.

Terlebih dahulu ditentukan nilai K (konstanta viskositas kinematik) dengan menggunakan data fisik dari air.

**Tabel C.3.1. Standarisasi nilai K**

T (°C)	T (s)	t <sub>rata2</sub> (s)	v (cP)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	K	K <sub>rata2</sub>
30	8,72	8,6500	0,8007	0,9957	0,0930	
	8,71					
	8,52					
40	7,73	7,7100	0,656	0,9923	0,0857	
	7,67					
	7,73					
50	6,82	6,8033	0,5494	0,9881	0,0817	
	6,77					
	6,82					
60	6,77	6,6767	0,4688	0,9832	0,0714	
	6,68					
	6,58					

Perolehan nilai K dari tabel di atas digunakan untuk menentukan viskositas kinematik pada katalis Mg(OH)<sub>2</sub> untuk semua jumlah katalis.

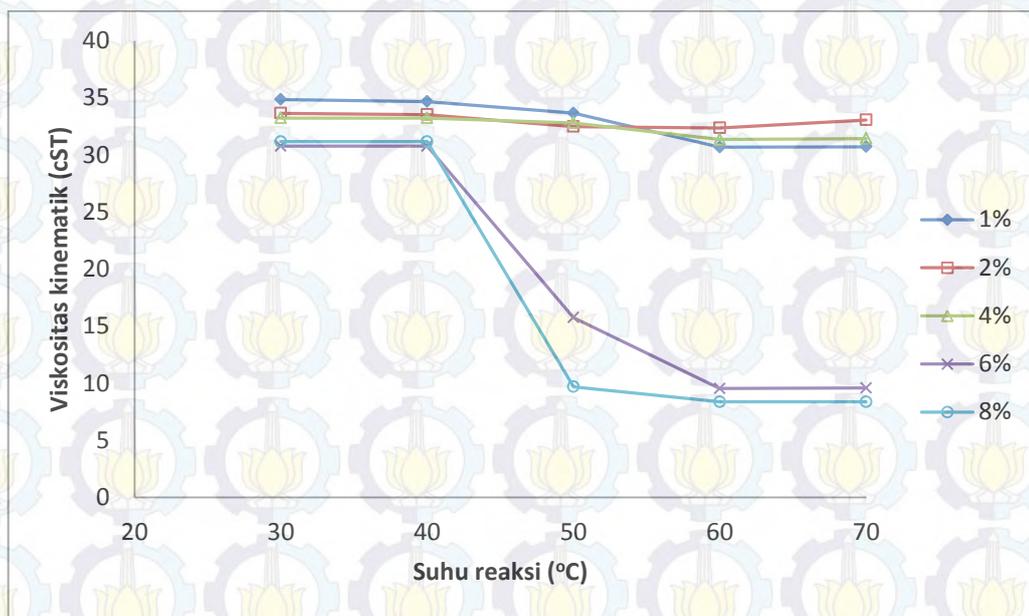
**Tabel C.3.2. Viskositas kinematik metil ester dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub>**

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
1	30	420,11	420,1467	0,0830	34,85726
		420,21			
		420,12			
40	40	418,98	417,8867	0,0830	34,66976
		415,78			
		418,9			
50	50	405,78	405,7367	0,0830	33,66175
		405,75			
		405,68			
60	60	369,59	369,79	0,0830	30,67945
		370			
		369,78			

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
2	70	370,21	370,2067	0,0830	30,71402
		370,19			
		370,22			
	30	405,56	405,5367	0,0830	33,64515
		405,45			
		405,6			
	40	404,11	404,18	0,0830	33,5326
		404,2			
		404,23			
	50	391,56	391,4867	0,0830	32,4795
		391,45			
		391,45			
60	390,16	390,16	0,0830	32,36943	
	390,18				
	390,14				
70	398,56	398,56	0,0830	33,06634	
	398,56				
	398,56				
4	30	400,36	400,4567	0,0830	33,22369
		400,56			
		400,45			
	40	400,56	400,47	0,0830	33,2248
		400,45			
		400,4			
	50	395,56	395,4567	0,0830	32,80887
		395,4			
		395,41			
	60	377,92	377,89	0,0830	31,35146
		377,9			
		377,85			
70	378,98	378,9333	0,0830	31,43802	
	378,9				
	378,92				
6	30	370,85	370,85	0,0830	30,76739
		370,85			
		370,85			
	40	370,84	370,8367	0,0830	30,76628
		370,83			
		370,84			
	50	189,85	189,83	0,0830	15,74915
		189,8			
		189,84			

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
8	60	120.98	120,9633	0,0830	10,03566
		120.95			
		120.96			
	70	125.85	125,84	0,0830	10,44025
		125.82			
		125.85			
	30	375.65	375,66	0,0830	31,16645
		375.68			
		375.65			
	40	375.6	375,6033	0,0830	31,16175
		375.61			
		375.6			
50	116.85	116,83	0,0830	9,692744	
	116.8				
	116.84				
60	100.99	100,9833	0,0830	8,378033	
	100.98				
	100.98				
70	101	101,0133	0,0830	8,380522	
	101.01				
	101.03				

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan viskositas kinematik seperti gambar C.3.1



Gambar C.3.1. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis  $Mg(OH)_2$  (%w/w)

Dari Gambar C.3.1 dapat terlihat bahwa viskositas terbaik yang diperoleh adalah 8,3780 cSt dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu  $60^\circ C$  dan % berat katalis  $Mg(OH)_2$  sebesar 8% (w/w).

Sama dengan penentuan viskositas kinematik pada katalis  $Mg(OH)_2$ , katalis  $Ca(OH)_2$  juga menggunakan metode tersebut.

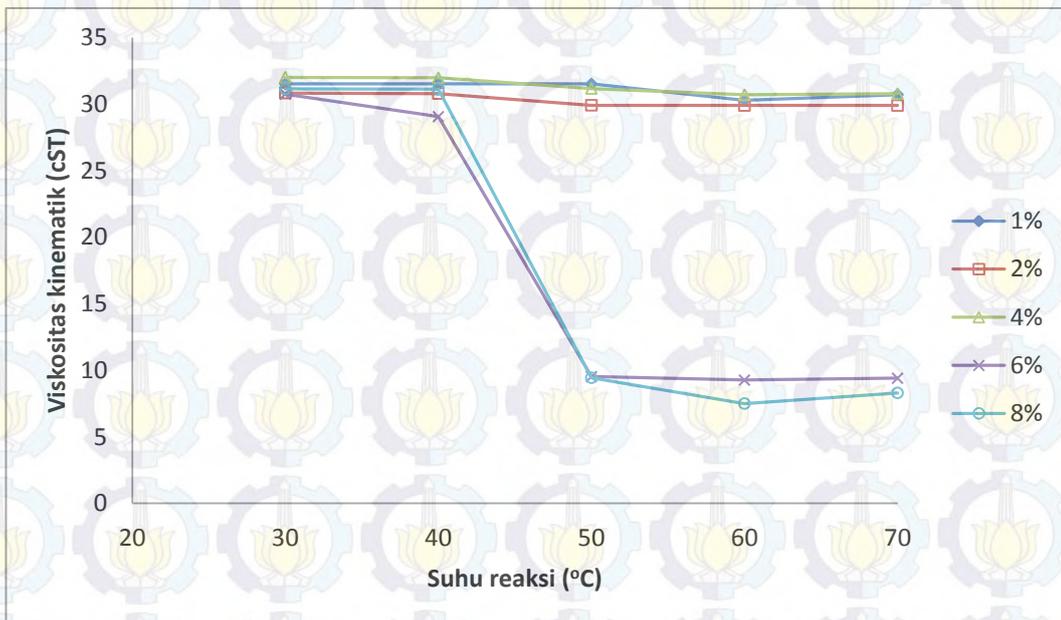
**Tabel C.3.3. Viskositas kinematik metil ester dengan katalis  $Ca(OH)_2$**

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
1	30	380,05			
		380,04	380,0467	0,0830	31,53039
		380,05			
40	40	380			
		380,01	380,01	0,0830	31,52735
		380,02			
50	50	379,88			
		379,86	379,8667	0,0830	31,51545
		379,86			
60	60	365			
		365	365,0033	0,0830	30,28232
		365,01			

	<b>% Katalis</b>	<b>T</b>	<b>t (s)</b>	<b>t rata<sup>2</sup></b>	<b>K</b>	<b>Viskositas kinematik</b>
		70	370,12	370,1167	0,0830	30,70655
			370,11			
			370,12			
<b>2</b>	30	370,98	371,55	0,0830	30,82547	
		371,67				
		372				
	40	371	371,05	0,0830	30,78398	
		371,05				
		371,1				
	50	360,58	360,476667	0,0830	29,90677	
		360,4				
		360,45				
	60	360,4	360,393333	0,0830	29,89986	
		360,4				
		360,38				
	70	360,4	360,4	0,0830	29,90041	
		360,4				
		360,4				
<b>4</b>	30	430,05	430,086667	0,0830	35,68193	
		430,1				
		430,11				
	40	425,04	424,766667	0,0830	35,24056	
		424,58				
		424,68				
	50	420,98	420,81	0,0830	34,9123	
		420,7				
		420,75				
	60	419,98	419,196667	0,0830	34,77845	
		418,7				
		418,91				
	70	419,99	419,923333	0,0830	34,83874	
		419,88				
		419,9				
<b>6</b>	30	370,53	370,573333	0,0830	30,74444	
		370,7				
		370,49				
	40	322,16	322,153333	0,0830	26,72729	
		322,1				
		322,2				
	50	114,94	114,906667	0,0830	9,533176	

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
8	60	114,88	159,623333	0,0830	13,24307
		114,9			
		159,67			
	70	159,5	250,273333	0,0830	20,76381
		159,7			
		250,27			
	30	250,2	437,82	0,0830	36,32352
		250,35			
		437,62			
	40	438,08	400,046667	0,0830	33,18968
		437,76			
		400,04			
50	400,05	113,71	0,0830	9,433895	
	400,05				
	113,7				
60	113,68	90,3933333	0,0830	7,499439	
	113,75				
	90,43				
70	90,4	164,433333	0,0830	13,64213	
	90,35				
	164,44				
		164,4			
		164,46			

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan viskositas kinematik seperti Gambar C.3.2 berikut ini.



Gambar C.3.2. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis Ca(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Dari Gambar C.3.2 dapat terlihat bahwa viskositas terbaik yang diperoleh adalah 7,4994 cSt dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60°C dan % berat katalis Ca(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% (w/w).

Penentuan Viskositas pada katalis Ba(OH)<sub>2</sub> juga sama dengan kedua katalis lainnya.

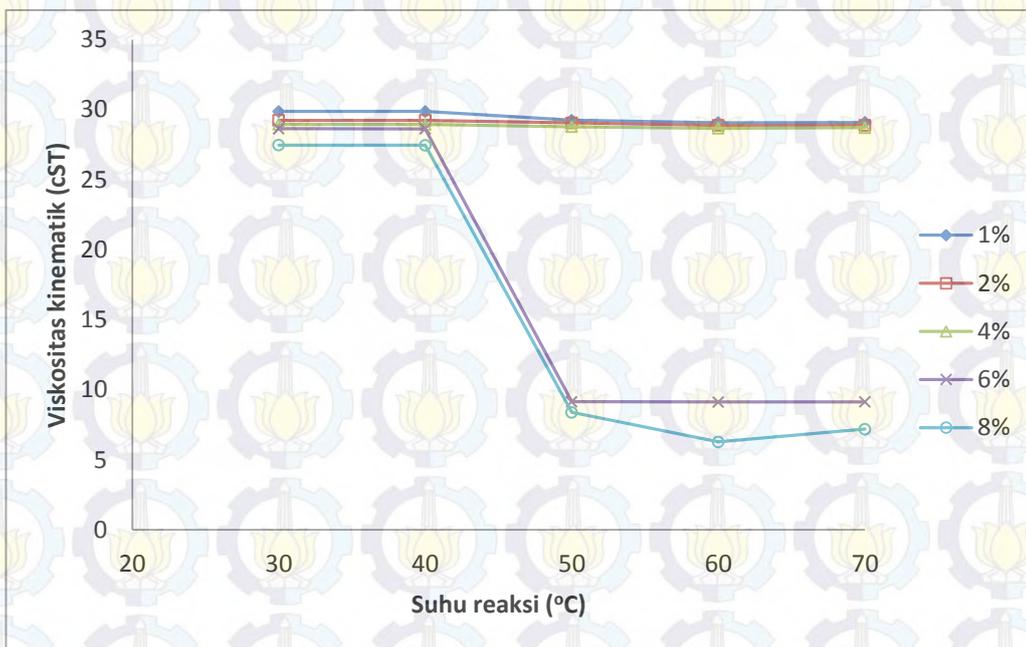
**Tabel C.3.4. Viskositas kinematik metil ester dengan katalis Ba(OH)<sub>2</sub>**

% Katalis	T	t(s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
1	30	360	360	0,0830	29,86723
		360			
		360			
40	360	360	359,99	0,0830	29,8664
		359,98			
		359,99			
50	360	352,45	352,4467	0,0830	29,24057
		352,43			
		352,43			

<b>% Katalis</b>	<b>T</b>	<b>t(s)</b>	<b>t rata<sup>2</sup></b>	<b>K</b>	<b>Viskositas kinematik</b>
		352,46			
	60	350,23	350,23	0,0830	29,05666
		350,24			
		350,22			
	70	350,45	350,46	0,0830	29,07574
		350,46			
		350,47			
<b>2</b>	30	352,34	352,3467	0,0830	29,23227
		352,36			
		352,34			
	40	352,34	352,3367	0,0830	29,23144
		352,34			
		352,33			
	50	350,12	350,1167	0,0830	29,04726
		350,11			
		350,12			
	60	347,98	347,9767	0,0830	28,86972
		347,97			
		347,98			
	70	348,09	348,09	0,0830	28,87912
		348,09			
		348,09			
<b>4</b>	30	348,87	348,8633	0,0830	28,94328
		348,86			
		348,86			
	40	348,78	348,7733	0,0830	28,93581
		348,76			
		348,78			
	50	346,78	346,7733	0,0830	28,76988
		346,76			
		346,78			
	60	345,45	345,45	0,0830	28,66009
		345,46			
		345,44			
	70	346	346,0067	0,0830	28,70628
		346,01			
		346,01			
<b>6</b>	30	345,12	345,1167	0,0830	28,63244
		345,11			
		345,12			
	40	345,05	345,0433	0,0830	28,62635

% Katalis	T	t (s)	t rata <sup>2</sup>	K	Viskositas kinematik
		345,04			
		345,04			
	50	110,23	110,2233	0,0830	9,144625
		110,22			
		110,22			
	60	90,01	90,01333	0,0830	7,467912
		90			
		90,03			
	70	92,05	92,05667	0,0830	7,637437
		92,06			
		92,06			
8	30	330,98	330,9833	0,0830	27,45987
		330,99			
		330,98			
	40	330,89	330,89	0,0830	27,45213
		330,89			
		330,89			
	50	108,98	108,9833	0,0830	9,041749
		108,99			
		108,98			
	60	85,65	85,65	0,0830	7,105911
		85,65			
		85,65			
	70	91,56	91,55333	0,0830	7,595678
		91,55			
		91,55			

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan viskositas kinematik seperti Gambar C.3.3 berikut ini.



Gambar C.3.3. Pengaruh suhu reaksi terhadap viskositas kinematik untuk berbagai % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Dari Gambar C.3.3 dapat terlihat bahwa viskositas terbaik yang diperoleh adalah 7,1059 cSt dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60°C dan % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% (w/w).

#### C.4. Perhitungan Densitas Metil Ester

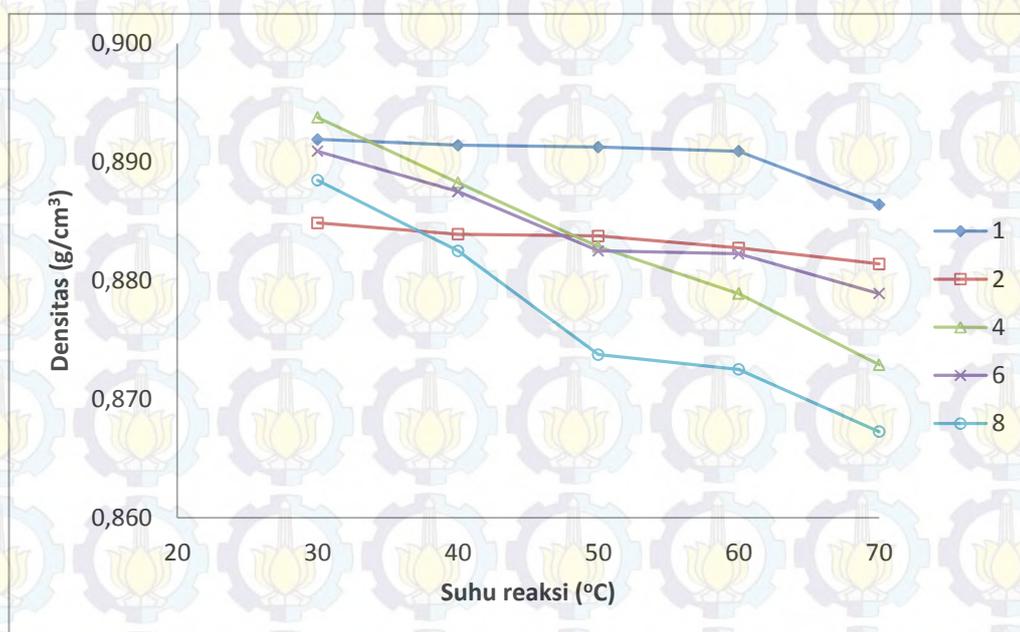
Densitas biodiesel diukur menggunakan metode gravimetri dengan menggunakan piknometer. Berikut tabel hasil perhitungan densitas untuk katalis Ca(OH)<sub>2</sub> dan Mg(OH)<sub>2</sub>.

Tabel C.4.1. Densitas metil ester dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub>

% Katalis	T	m (gr)	v (ml)	ρ (gr/ml)
1	30	1,7838	2	0,8919
	40	1,7828	2	0,8914
	50	1,7825	2	0,89125
	60	1,7818	2	0,8909
	70	1,7728	2	0,8864
2	30	1,7697	2	0,88485
	40	1,7678	2	0,8839
	50	1,7675	2	0,88375
	60	1,7655	2	0,88275

% Katalis	T	m (gr)	v (ml)	$\rho$ (gr/ml)
4	70	1,7628	2	0,8814
	30	1,7875	2	0,89375
	40	1,7765	2	0,88825
	50	1,7657	2	0,88285
	60	1,7578	2	0,8789
6	70	1,7458	2	0,8729
	30	1,7818	2	0,8909
	40	1,775	2	0,8875
	50	1,765	2	0,8825
	60	1,7645	2	0,88225
8	70	1,7578	2	0,8789
	30	1,7769	2	0,88845
	40	1,765	2	0,8825
	50	1,7475	2	0,87375
	60	1,745	2	0,8725
	70	1,7345	2	0,86725

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan densitas seperti Gambar C.4.1 berikut ini.

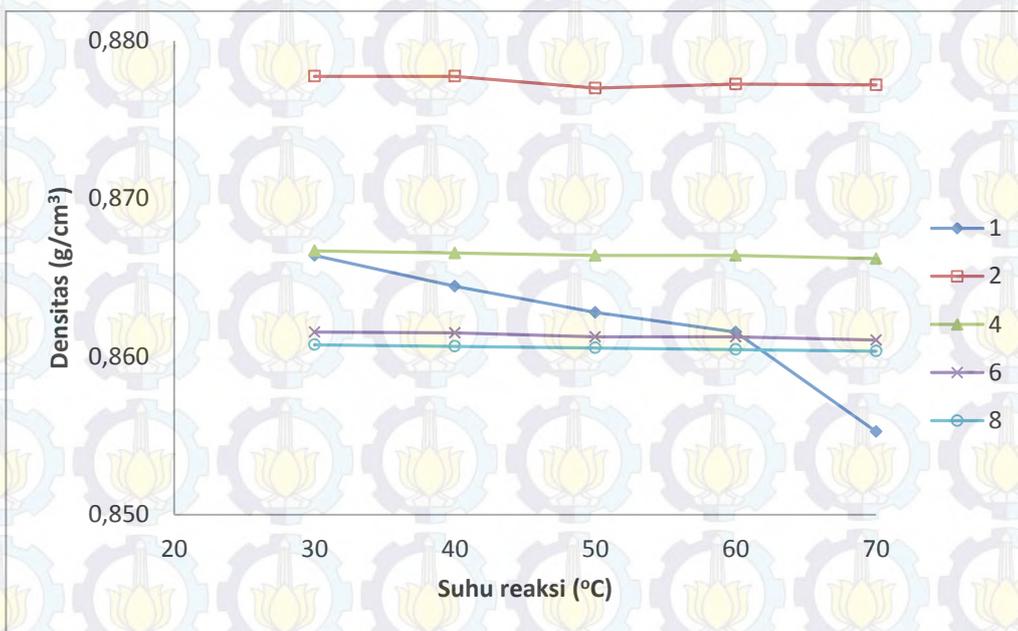


Gambar C.4.1. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis  $Mg(OH)_2$  (%w/w)

**Tabel C.4.2. Densitas metil ester dengan katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

% Katalis	T	m (gr)	v (ml)	$\rho$ (gr/ml)
1	30	1,7328	2	0,8664
	40	1,7289	2	0,8645
	50	1,7256	2	0,8628
	60	1,7231	2	0,8616
	70	1,7105	2	0,8553
2	30	1,7555	2	0,8778
	40	1,7555	2	0,8778
	50	1,754	2	0,8770
	60	1,7545	2	0,8773
	70	1,7544	2	0,8772
4	30	1,7334	2	0,8667
	40	1,7331	2	0,8666
	50	1,7328	2	0,8664
	60	1,7328	2	0,8664
	70	1,7324	2	0,8662
6	30	1,7231	2	0,8616
	40	1,723	2	0,8615
	50	1,7225	2	0,8613
	60	1,7225	2	0,8613
	70	1,7221	2	0,8611
8	30	1,7215	2	0,8608
	40	1,7213	2	0,8607
	50	1,7211	2	0,8606
	60	1,7209	2	0,8605
	70	1,7207	2	0,8604

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan densitas seperti Gambar C.4.2 berikut ini.



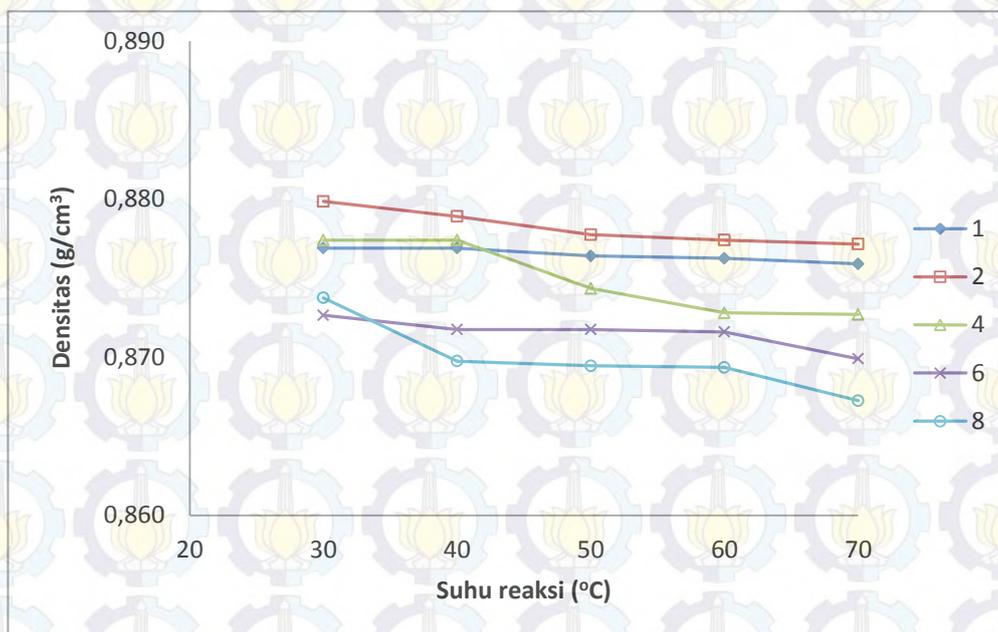
Gambar C.4.2. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis Ca(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Tabel C.4.3. Densitas metil ester dengan katalis Ba(OH)<sub>2</sub>

% Katalis	T	m (gr)	v (ml)	ρ (gr/cm <sup>3</sup> )
1	30	1,7538	2	0,8769
	40	1,7538	2	0,8769
	50	1,7528	2	0,8764
	60	1,7525	2	0,87625
	70	1,7518	2	0,8759
2	30	1,7597	2	0,87985
	40	1,7578	2	0,8789
	50	1,7555	2	0,87775
	60	1,7548	2	0,8774
	70	1,7543	2	0,87715
4	30	1,7548	2	0,8774
	40	1,7548	2	0,8774
	50	1,7487	2	0,87435
	60	1,7456	2	0,8728
	70	1,7454	2	0,8727
6	30	1,7453	2	0,87265
	40	1,7435	2	0,87175
	50	1,7435	2	0,87175
	60	1,7432	2	0,8716
	70	1,7398	2	0,8699
8	30	1,7475	2	0,87375

% Katalis	T	m (gr)	v (ml)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )
	40	1,7395	2	0,86975
	50	1,7389	2	0,86945
	60	1,7387	2	0,86935
	70	1,7345	2	0,86725

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan densitas seperti Gambar C.4.3 berikut ini.



Gambar C.4.3. Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas untuk berbagai % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

### C.5. Perhitungan Kadar Metil ester

Penentuan kadar metil ester diperoleh dengan melakukan pendekatan viskositas kinematik sebagaimana yang dilakukan oleh Tesfa, dkk (2010) melalui

Persamaan berikut ini:

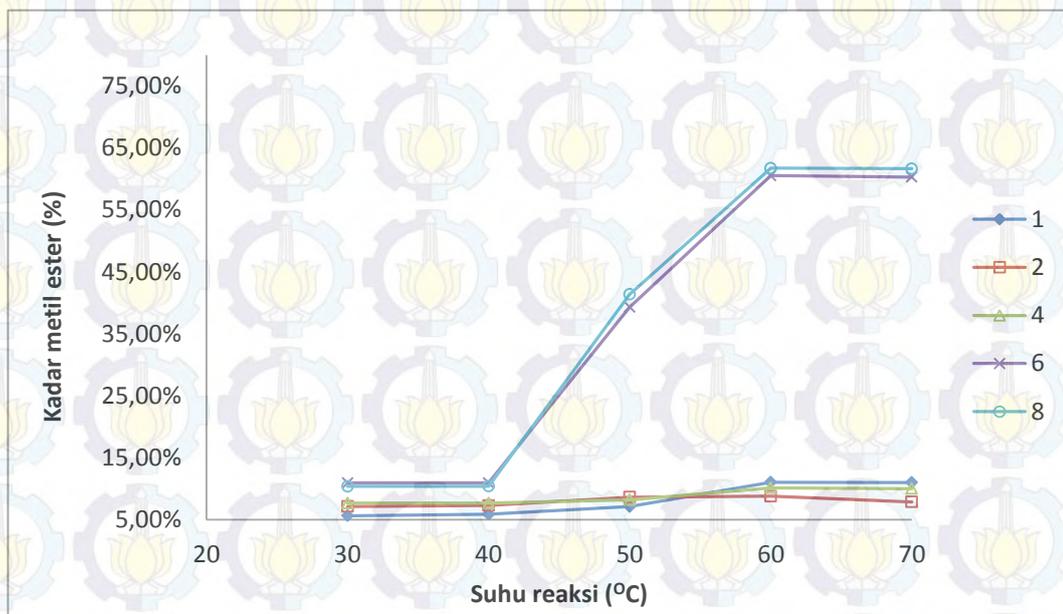
$$\ln(\eta_{\max}) = x_1 \ln(\eta_1) + x_2 \ln(\eta_2)$$

$$x_2 = \frac{\ln(\eta_1) - \ln(\eta_{\max})}{\ln(\eta_1) - \ln(\eta_2)}$$

**Tabel C.5.1. metil ester dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub>**

T	Jumlah katalis				
	1%	2%	4%	6%	8%
30	5,64%	7,14%	7,68%	10,93%	10,38%
40	5,87%	7,28%	7,67%	10,93%	10,39%
50	7,12%	8,64%	8,21%	39,31%	41,36%
60	11,05%	8,78%	10,13%	60,54%	61,75%
70	11,00%	7,88%	10,02%	60,30%	61,66%

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan kadar metil ester seperti Gambar C.5.1 berikut ini.



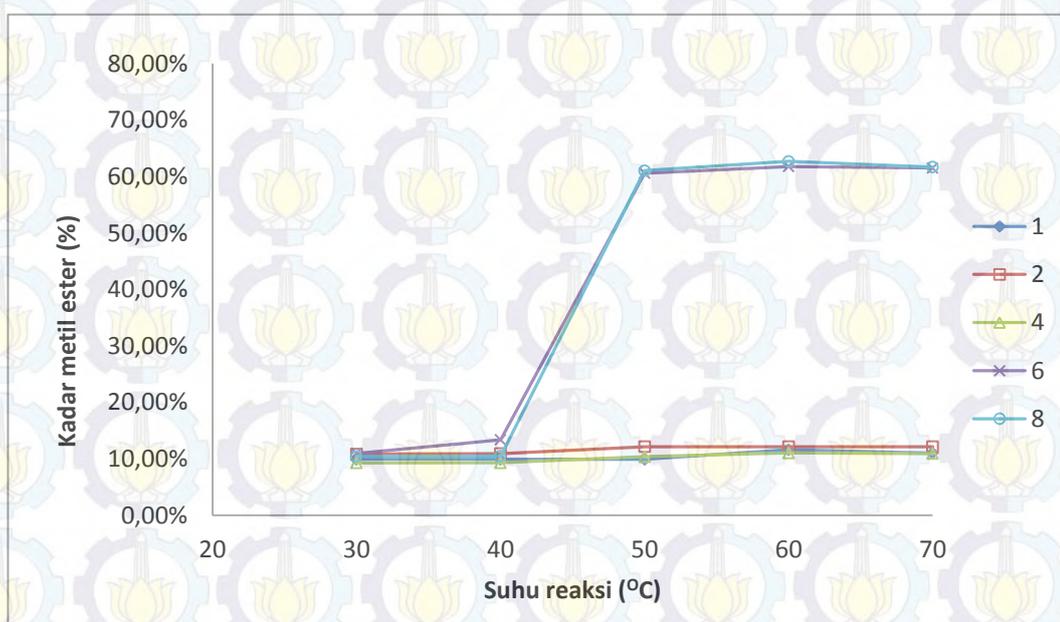
Gambar C.5.1. Pengaruh suhu reaksi terhadap kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis Mg(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Dari Gambar C.5.1 dapat terlihat bahwa kadar metil ester terbaik yang diperoleh dengan menggunakan katalis Mg(OH)<sub>2</sub> adalah 66,86% dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60°C dan % berat katalis Mg(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% (w/w).

**Tabel C.5.2. Kadar metil ester dengan katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**

T	Jumlah katalis				
	1%	2%	4%	6%	8%
30	9,89%	10,85%	9,26%	10,96%	10,42%
40	9,90%	10,91%	9,29%	13,36%	10,45%
50	9,91%	12,13%	10,38%	60,58%	61,02%
60	11,60%	12,14%	11,03%	61,75%	62,66%
70	11,01%	12,14%	10,91%	61,50%	61,67%

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan kadar metil ester seperti Gambar C.5.2 berikut ini.



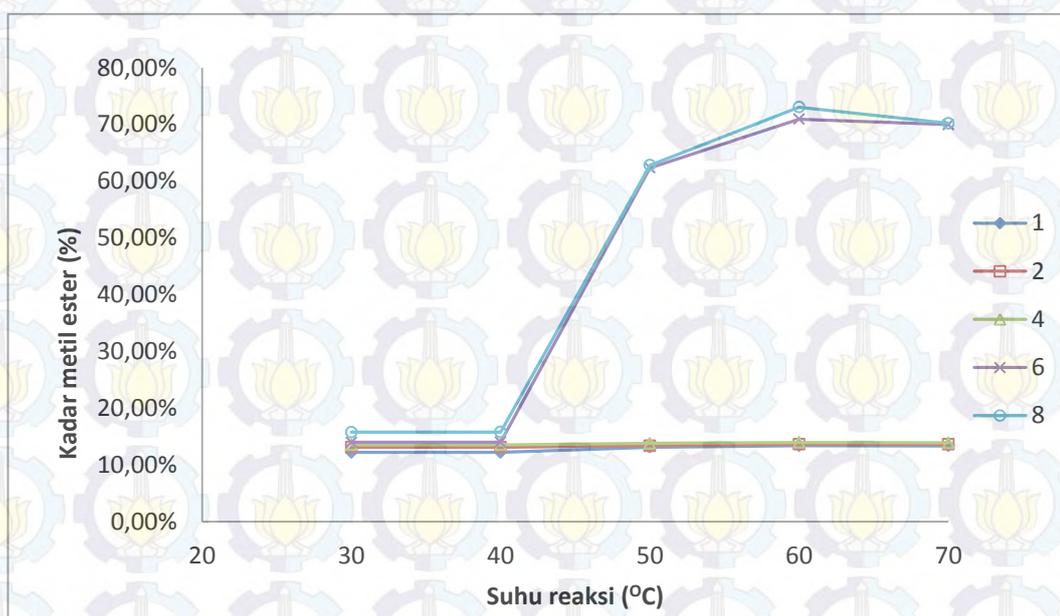
Gambar C.5.2. Pengaruh suhu reaksi terhadap kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (%w/w)

Dari Gambar C.5.2 dapat terlihat bahwa kadar metil ester terbaik yang diperoleh dengan menggunakan katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adalah 67,86% dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60°C dan % berat katalis  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sebesar 8% (w/w).

**Tabel C.5.3. Kadar metil ester dengan katalis Ba(OH)<sub>2</sub>**

T	Jumlah Katalis				
	1%	2%	4%	6%	8%
30	12,19%	13,10%	13,52%	13,98%	15,75%
40	12,19%	13,10%	13,53%	13,99%	15,76%
50	13,09%	13,37%	13,78%	62,34%	62,82%
60	13,35%	13,63%	13,94%	70,93%	73,03%
70	13,33%	13,61%	13,87%	69,97%	70,21%

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara suhu reaksi dengan kadar metil ester seperti Gambar C.5.3 berikut ini.



Gambar C.5.3. Pengaruh suhu reaksi terhadap kadar metil ester untuk berbagai % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> (%w/w)

Dari Gambar C.5.3 dapat terlihat bahwa kadar metil ester terbaik yang diperoleh dengan menggunakan katalis Ba(OH)<sub>2</sub> adalah 79,08% dimana reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60°C dan % berat katalis Ba(OH)<sub>2</sub> sebesar 8% (w/w).

### C.6. Perhitungan Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar diperoleh dari banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk 1 ml bahan bakar mengalir.

**Tabel C.6.1. Laju Konsumsi Bahan Bakar**

Jenis katalis	Blending	Waktu (s)	Konsumsi BBM (cc)	Laju Konsumsi (lt/j)
$Mg(OH)_2$	B0	15,85	1	0,2271
	B5	12,54	1	0,2871
	B10	10,47	1	0,3438
	B20	9,23	1	0,3900
	B100	0	1	0,0000
$Ca(OH)_2$	B0	15,85	1	0,2271
	B5	13,15	1	0,2738
	B10	11,34	1	0,3175
	B20	9,57	1	0,3762
	B100	0	1	0,0000
$Ba(OH)_2$	B0	15,85	1	0,2271
	B5	13,23	1	0,2721
	B10	12,29	1	0,2929
	B20	10,18	1	0,3536
	B100	9,54	1	0,3774

Laju konsumsi bahan bakar menunjukkan banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk bahan bakar mengalir dan menyalakan mesin setiap 1 ml bahan bakar. Pada katalis  $Mg(OH)_2$  dan  $Ca(OH)_2$  dengan blending solar 100% (B100) mesin tidak dapat menyala.

### C.7. Perhitungan Daya Motor Diesel

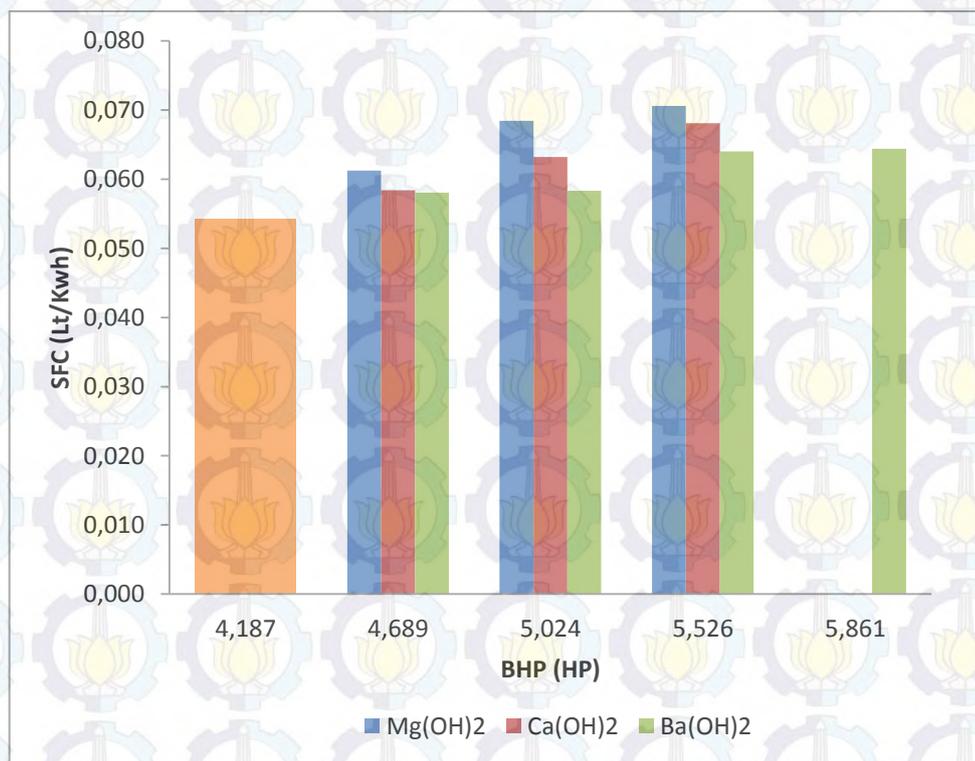
BHP ini diperoleh dari besarnya torsi yang dihasilkan dan putaran mesin yang digunakan saat uji mesin. Besarnya torsi yang dihasilkan telah ditentukan sebesar 2,5; 2,8; 3; 3,3; dan 3,5 untuk setiap *blending* solar dengan putaran mesin sebesar 1200 rpm.

**Tabel C.7.1. Daya Motor Diesel**

Jenis katalis	Blending	Torsi	BHP
$Mg(OH)_2$	B0	2,5	4,1867
	B5	2,8	4,6891
	B10	3	5,0240

Jenis katalis	Blending	Torsi	BHP
Ca(OH) <sub>2</sub>	B20	3,3	5,5264
	B100	3,5	5,8613
	B0	2,5	4,1867
	B5	2,8	4,6891
	B10	3	5,0240
Ba(OH) <sub>2</sub>	B20	3,3	5,5264
	B100	3,5	5,8613
	B0	2,5	4,1867
	B5	2,8	4,6891
	B10	3	5,0240
	B20	3,3	5,5264
	B100	3,5	5,8613

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara BHP dengan SFC dengan densitas seperti Gambar C.7.1 berikut ini.



Gambar C.7.1. Pengaruh blending solar terhadap SFC untuk berbagai jenis katalis

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa daya dibangkitkan saat mesin menyala sama untuk setiap blending solar dengan menggunakan ketiga macam

katalis. Hal ini dikarenakan torsi yang dihasilkan nilainya sama untuk tiap katalis. Sehingga mengakibatkan besar daya yang dibangkitkan juga sama. Daya terbesar adalah pada blending solar 100% (B100).

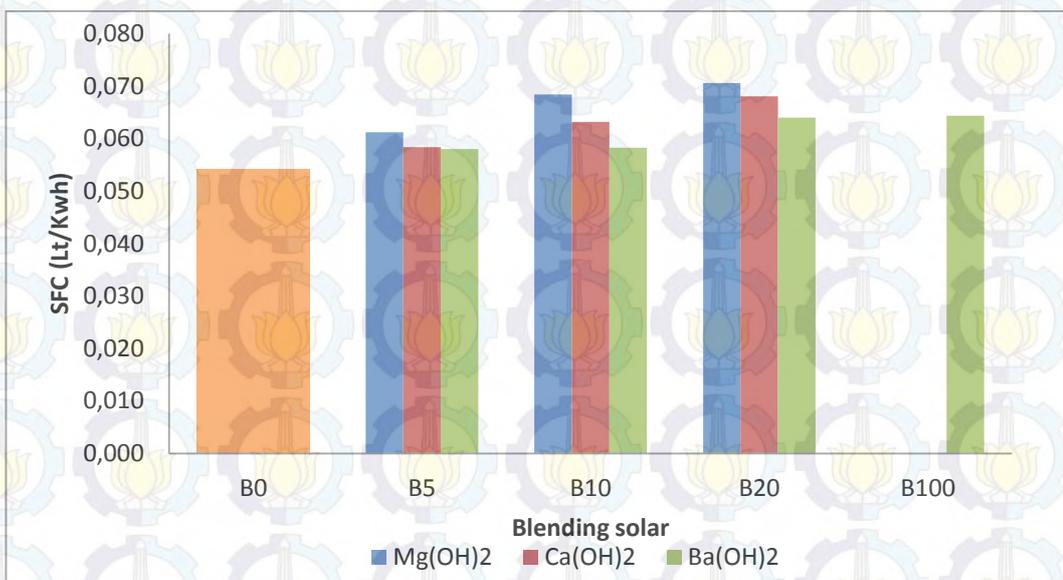
### C.8. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar (SFC)

SFC merupakan banyaknya konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan daya motor.

**Tabel C.8.1. Konsumsi Bahan Bakar**

Jenis katalis	Blending	Laju Konsumsi (lt/j)	BHP	SFC
<b>Mg(OH)<sub>2</sub></b>	B0	0,2271	4,1867	0,0543
	B5	0,2871	4,6891	0,0612
	B10	0,3438	5,0240	0,0684
	B20	0,3900	5,5264	0,0706
	B100	0,0000	5,8613	0,0000
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	B0	0,2271	4,1867	0,0543
	B5	0,2738	4,6891	0,0584
	B10	0,3175	5,0240	0,0632
	B20	0,3762	5,5264	0,0681
	B100	0,0000	5,8613	0,0000
<b>Ba(OH)<sub>2</sub></b>	B0	0,2271	4,1867	0,0543
	B5	0,2721	4,6891	0,0580
	B10	0,2929	5,0240	0,0583
	B20	0,3536	5,5264	0,0640
	B100	0,3774	5,8613	0,0644

Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara Blending solar dengan SFC dengan densitas seperti Gambar C.8.1 berikut ini.



Gambar C.8.1. Pengaruh blending solar terhadap SFC untuk berbagai jenis katalis

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa SFC terbaik yang dihasilkan saat mesin menyala adalah blending biodiesel yang menggunakan katalis Ba(OH)<sub>2</sub>. Hal ini ditandai dengan nilai SFC dengan menggunakan katalis Ba(OH)<sub>2</sub> relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan katalis Mg(OH)<sub>2</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub>. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biodiesel dengan katalis Ba(OH)<sub>2</sub> lebih hemat jika dibandingkan kedua katalis lainnya.

### C.9. Perhitungan Kadar Emisi Gas Buang (CO, CO<sub>2</sub>) dan O<sub>2</sub> dan N sisa pembakaran

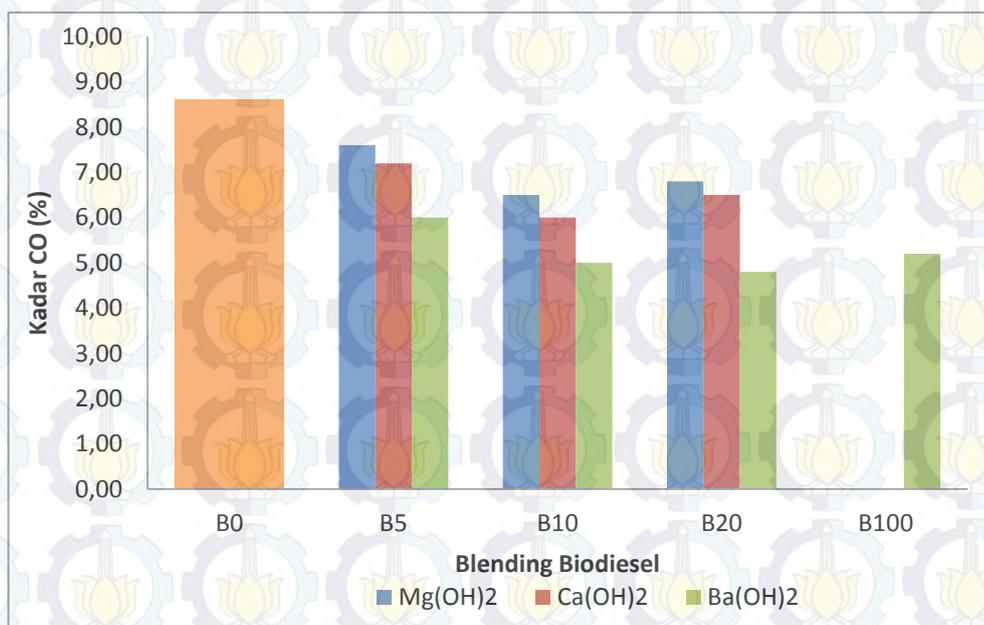
Penentuan kadar emisi gas buang diperoleh dengan menggunakan analisa orsat. Dimana alat orsat dihubungkan dengan keluaran gas pada mesin diesel. Dat yang diukur adalah volume untuk tiap – tiap gas.

Tabel C.9.1. Kadar Emisi Gas Buang

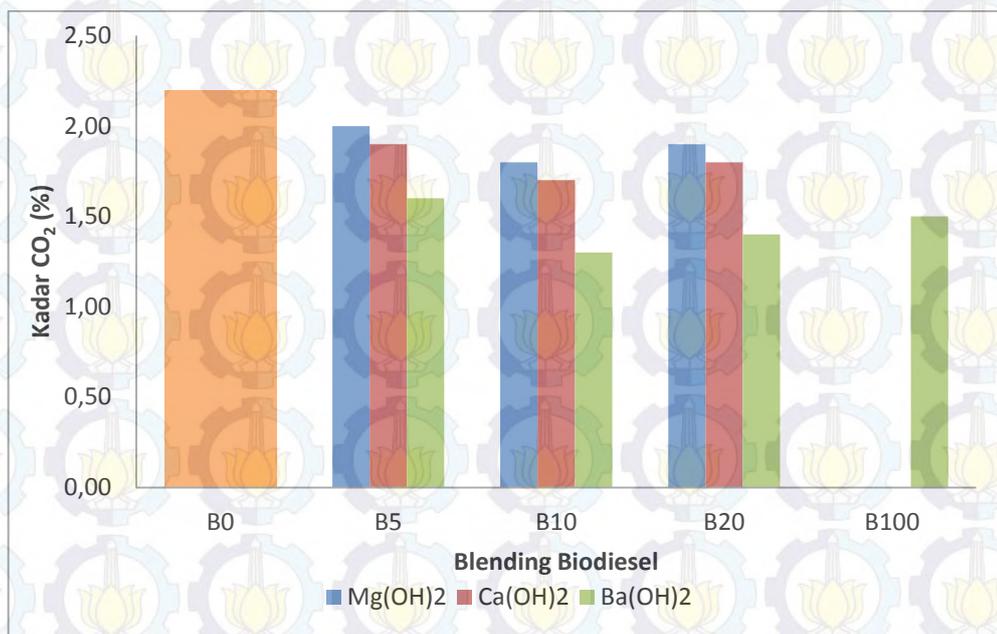
Jenis katalis	Blending	Kadar Emisi			
		CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N
Mg(OH) <sub>2</sub>	B0	8,6	3,8	2,2	85,4
	B5	7,6	3,9	2	86,6
	B10	6,5	4,5	1,8	89
	B20	6,8	3,4	1,9	88,2
	B100	0	0	0	0
Ca(OH) <sub>2</sub>	B0	8,6	3,8	2,2	85,4

Jenis katalis	Blending	Kadar Emisi			
		CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N
Ba(OH) <sub>2</sub>	B5	7,2	3,9	1,9	87
	B10	6	4,8	1,7	87,5
	B20	6,5	3,7	1,8	98
	B100	0	0	0	0
	B0	8,6	3,8	2,2	85,4
	B5	6	4	1,6	88,4
	B10	5	5,6	1,3	88,1
	B20	4,8	5	1,4	88,8
	B100	5,2	4,8	1,5	88,5

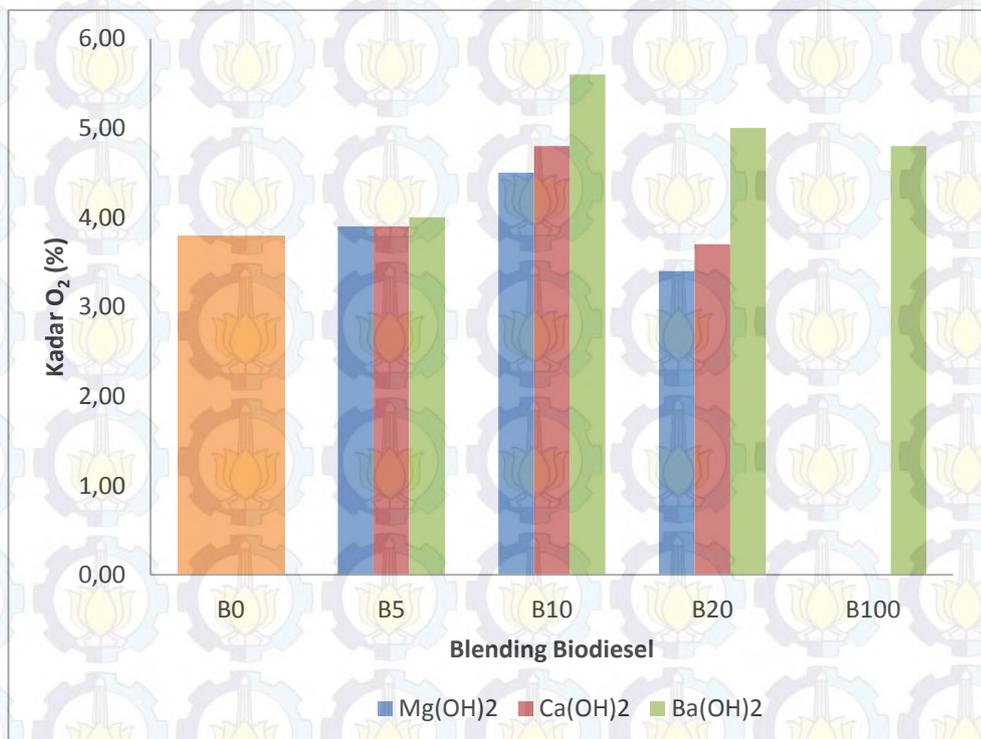
Dari tabel hasil perhitungan tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara Blending solar dengan SFC dengan densitas seperti Gambar C.8.1, C.9.2 dan C.9.3 berikut ini.



Gambar C.9.1. Pengaruh blending solar terhadap Kadar CO untuk berbagai jenis katalis



Gambar C.9.2. Pengaruh blending solar terhadap Kadar CO<sub>2</sub> untuk berbagai jenis katalis

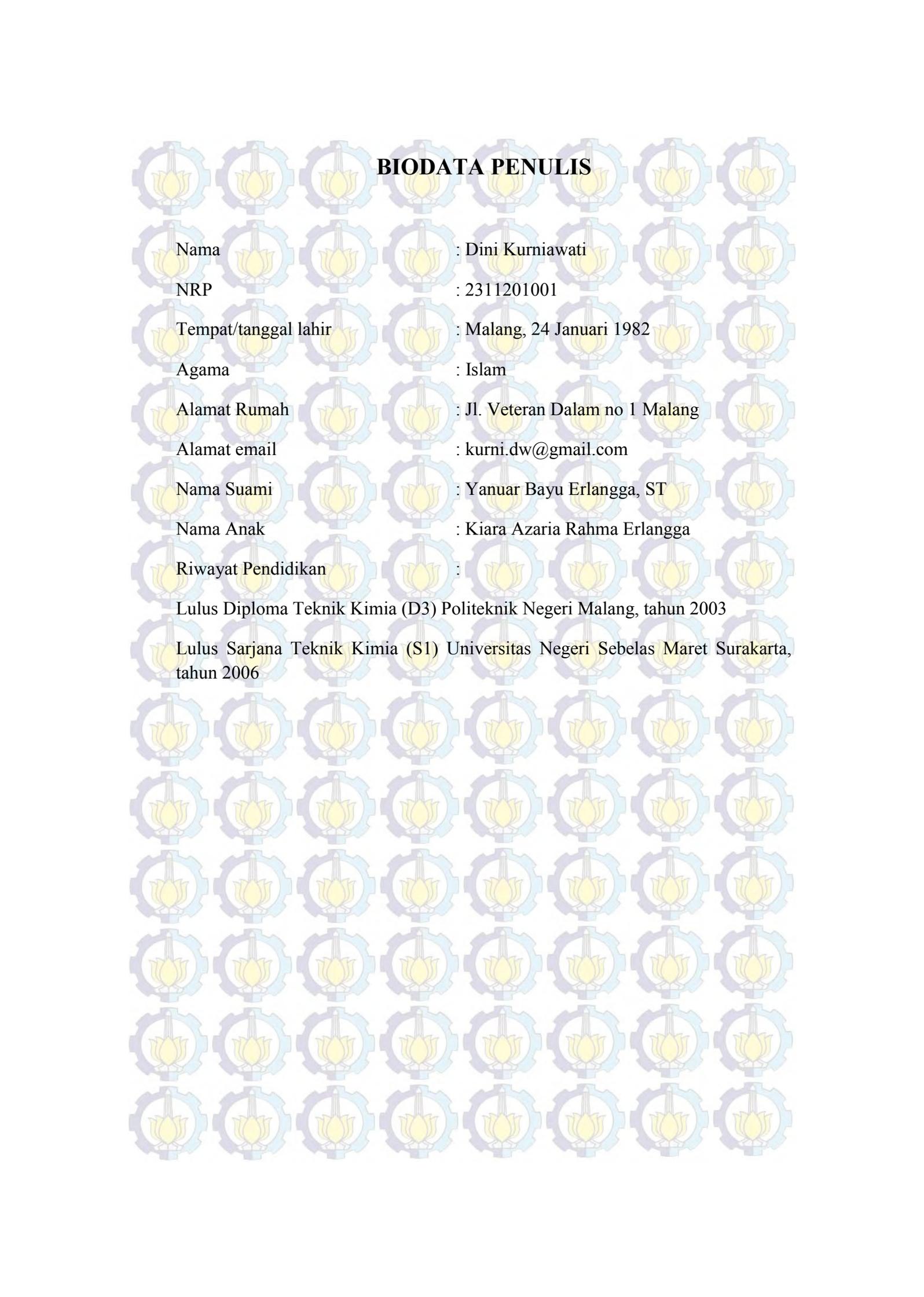


Gambar C.9.2. Pengaruh blending solar terhadap Kadar O<sub>2</sub> untuk berbagai jenis katalis

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa kadar emisi gas yang dihasilkan dengan blending solar dari ketiga macam katalis semakin menurun untuk kadar CO dan CO<sub>2</sub> jika dibandingkan dengan solar. Hal ini mengakibatkan kandungan O<sub>2</sub> hasil sisa pembakaran juga meningkat.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## BIODATA PENULIS

Nama : Dini Kurniawati

NRP : 2311201001

Tempat/tanggal lahir : Malang, 24 Januari 1982

Agama : Islam

Alamat Rumah : Jl. Veteran Dalam no 1 Malang

Alamat email : kurni.dw@gmail.com

Nama Suami : Yanuar Bayu Erlangga, ST

Nama Anak : Kiara Azaria Rahma Erlangga

Riwayat Pendidikan :

Lulus Diploma Teknik Kimia (D3) Politeknik Negeri Malang, tahun 2003

Lulus Sarjana Teknik Kimia (S1) Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta, tahun 2006