

Vera Dwi Wijayanto

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
vera.wijayanto@gmail.com

Nurkholis Hamidi

Tenaga Pengajar
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
nurkholishamidi@gmail.com

Widya Wijayanti

Tenaga Pengajar
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
widya_dinata@ub.ac.id

EFEK BENTONIT PADA KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BIODIESEL KELAPA SAWIT

The blends of fuel to base liquid fuels for the enhancement of combustion properties has long generated interest since it is linked to improvement in combustion properties in biodiesel fuels. This work investigates the effect of bentonite nanoparticles on the combustion characteristics of palm oil biodiesel. These nanoparticles are added in various compositions on biodiesel which are 0% (B0), 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30). The insulin pen was used to make Sub-millimeter-sized spherical droplets, and the combustion process of droplets was recorded using a camera in atmosphere condition. The fuel was dripped on the tip of the thermocouple junction and ignited using a torch of the butane-air mixture on a cylindrical burner. Properties such as ignition delay, burning rate, and flame temperature of droplets were measured with post-processing of the resulting images. The results showed a decrease in ignition delay and an increase of flame temperature with the increase of bentonite percentage due to bentonite acts as a catalyst capable of accelerating the reaction rate. However, the burning rate decrease with the increasing of bentonite percentage due to the oxygen content of the mixture is getting lower.

Keywords: Droplet, Palm Oil Biodiesel, Bentonite, Combustion Characteristic, Ignition Delay, Burning Rate.

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil tetap menjadi sumber energi utama untuk pengembangan masyarakat kita sejak lama. Namun, meningkatnya permintaan energi memberi tekanan tambahan pada sumber daya bahan bakar fosil, yang mengarah ke penipisan awal [1]. Peraturan emisi yang semakin ketat, naiknya harga minyak, dan pasokan bahan bakar fosil yang terbatas telah membuatnya perlu untuk mencari yang berkelanjutan dan ramah lingkungan sumber energi [2]. Sebagai bahan bakar nabati yang terbarukan, biodiesel dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi permintaan energi [3]. Diantara produksinya rute saat ini tersedia untuk mengubah minyak atau lemak menjadi biodiesel, transesterifikasi menjadi semakin maju. Biodiesel adalah sebuah cairan dengan komposisi dan sifat-sifat yang mirip dengan bahan bakar fosil/mineral diesel. Namun, tidak seperti diesel yang diturunkan dari fosil, biodiesel adalah sebuah bahan bakar teroksidasi dan tidak mengandung aromatik dan sikloalkana. Selain itu, ketika dicampur dengan diesel biasa, biodiesel bisa efektif mengurangi emisi CO, HC, dan jelaga dari mesin diesel dan mengurangi emisi gas rumah kaca [4,5]. Jadi, agar bisa menggunakan bahan bakar lebih efisien dan secara rasional dan untuk mengurangi emisi polutan, perlu untuk memahami karakteristik pembakaran cairan ini. Penelitian yang berfokus pada pembakaran biodiesel meliputi mekanisme pembakaran, stabilitas pembakaran dan karakteristik emisi, di antara aspek-aspek lainnya.

Sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan merupakan solusi alternatif yang potensial dalam mengatasi masalah menipisnya cadangan bahan bakar dan emisi beracun yang ditimbulkan oleh energi fosil [6-9]. Penting untuk menemukan sebuah energi alternatif untuk mengganti bahan bakar yang bersumber dari minyak tumbuhan dan lemak hewan [10]. Diantara sumber energi yang dimaksud, Biodiesel hadir sebagai salah satu yang paling diperhatikan karena berbagai keuntungan seperti, dapat dihasilkan dari berbagai macam sumber bahan baku seperti minyak sayur dan lemak hewan dan limbah hasil produksi yang bisa terurai [11,12]. Penggunaan biodiesel juga telah berkontribusi dalam mengurangi polusi. Nilai viskositas dan *flash point* yang tinggi dibandingkan solar dapat menguntungkan dalam hal lubrisitas dan keamanan penyimpanan [13].

Biodiesel diproduksi terutama dari bahan baku terbarukan, seperti minyak nabati dan lemak hewani melalui transesterifikasi [14]. Transesterifikasi adalah suatu reaksi yang merubah suatu bentuk ester menjadi

bentuk ester lainnya melalui pertukaran gugus alkoksi, bila suatu ester direaksikan dengan alkohol maka transesterifikasi ini disebut alkoholis. Alkohol rantai pendek yang dapat digunakan untuk reaksi ini adalah ethanol dan methanol, methanol lebih umum digunakan karena harganya yang relatif lebih murah serta reaktivitasnya lebih tinggi dibanding ethanol. Hasil transesterifikasi dari trigliserida dan methanol ini adalah FAME (*fatty acid methyl ester*) atau biodiesel dan gliserol.

Viskositas kinematik (4×10^{-6} m²/s) dan *boiling point* (615 °K) yang tinggi dari biodiesel dapat menyebabkan buruknya proses atomisasi, penguapan dan pembakaran [15]. Lebih dari itu biodiesel juga membentuk endapan di injektor bahan bakar mesin [10]. Berbagai kekurangan tersebut menyebabkan biodiesel sulit untuk dipakai secara langsung pada mesin diesel [13]. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini diantara lain Pencampuran biodiesel dengan bahan bakar cair terbarukan seperti etanol, butanol dan alkohe [13,16,17]. Pembakaran *droplet* campuran biodiesel dan bahan bakar fosil solar, hasil penelitian menunjukkan penggunaan biodiesel untuk campuran solar pada mesin dapat mengurangi emisi gas beracun dan kandungan oksigen pada biodiesel dapat menghasilkan oksidasi jelaga prekursor [18,19]. Sedangkan penelitian lain juga melaporkan bahwa penambahan biodiesel dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan hasil emisi nitrogen oksida (NOx) dibandingkan pemakaian solar murni [20,21].

Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah dibakukan dalam SNI-04-7 182-2006, yang telah disahkan dan diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tanggal 22 Februari 2006. Tabel 1 menyajikan persyaratan kualitas biodiesel yang diinginkan.

Tabel 1: Persyaratan kualitas biodiesel menurut SNI-04-7 182-2006

NO	PARAMETER	SATUAN	NILAI
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm ² /s(cst)	2.3-60
3	Angka setana		Min 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min 100
5	Titik kabut	°C	Maks 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		Maks no 3
7	Residu karbon		
	Dalam contoh asli Dalam 10% ampas distilasi		Maks 0.05 Maks 0.30
8	Air dan sedimen	% vol	Maks 0.5*
9	Temperatur destilasi 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	Maks 96.5
17	Angka iodium	% massa 9g-I ₂ /100g	Maks 115
18	Uji helphen		Negatif

Upaya peningkatan performa dari bahan bakar biodiesel terus dilakukan [22], termasuk penambahan berbagai nano material seperti graphene dan penambahan katalis [23,24]. Hasil penelitian menunjukkan penambahan nano partikel atau katalis mampu memperbaiki karakteristik pembakaran biodiesel [16]. Penggunaan bentonit sebagai katalis dalam produksi biodiesel telah diteliti secara luas [25-26]. Harga bentonit yang murah dan kemampuan aktivasi yang baik karena memiliki sifat porositas yang tinggi mejadikan bentonit sebagai pilihan sebagai katalis [27]. Sedikit penelitian tentang pembakaran *droplet* penambahan bentonit pada bahan bakar biodiesel. Karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengisi kekosongan literatur dengan cara

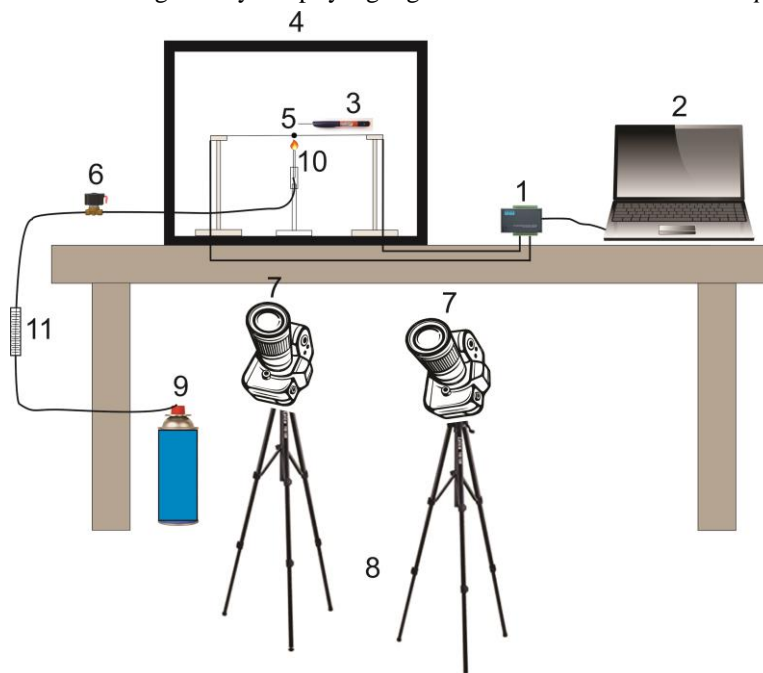
melakukan experimental untuk menganalisa karakteristik pembakaran seperti *ignition delay*, *konstanta burning rate* dan temperatur maksimum dari penambahan nano partikel bentonit pada biodiesel.

Pembakaran *droplet* tidak ada yang ideal menghasilkan api berbentuk bola karena proses pembakaran selalu menginduksi gaya apung yang akan mendorong gas panas keatas sehingga api akan berbentuk lonjong dan bahkan memanjang keatas [28]. Bentuk nyala api pada pembakaran *droplet* bisa berupa spherichal (bulat) atau non- spherichal (tidak bulat). Pada umumnya nyala api non- spherichal disebabkan oleh efek konveksi akibat gerakan relatif antara gas dan *droplet* disekelilingnya. Saat bentuk *droplet* mengecil, *droplet* akan ditahan oleh gas di sekelilingnya dan kecepatan relatif antara gas dan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini akan menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherichal* [29].

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Metode penelitian

Prosedur pengambilan data penelitian terdiri atas beberapa tahap, tahap pertama yaitu melakukan *setting* instalasi penelitian meliputi pemasangan selang botol gas butan pada *input flowmeter*, memasang selang *output flowmeter* butan pada *cylindrical burner*, memasang sensor termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur api dengan mengatur posisinya tepat diatas kayu dengan jarak 10 mm, kedua ujungnya dihubungkan pada *input data logger* dan kabel USB4718 *data logger* dihubungkan ke laptop. Selanjutnya mengatur posisi kamera menggunakan tripod dengan jarak 15 cm dari ruang uji bakar, kamera pertama difokuskan pada *junction* termokopel untuk mengamati diameter *droplet* dan kamera kedua difokuskan pada api secara keseluruhan. Selanjutnya membuka *software* DAQNav-USB4718 pada laptop untuk untuk mengecek kerja dari sensor termokopel, menyalakan api pada *cylindrical burner* dengan mengatur debit aliran bahan bakar butan pada *flowmeter* untuk mengecek nyala api yang digunakan untuk memanaskan *droplet*.



Keterangan:

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. <i>Data logger</i> | 7. Kamera |
| 2. Laptop | 8. Tripod |
| 3. Alat pembuat <i>droplet</i> (<i>insulin pen</i>) | 9. Tabung bahan bakar butan |
| 4. Ruang uji bakar <i>droplet</i> | 10. <i>Cylindrical burner</i> |
| 5. Termokopel | 11. <i>Flowmeter</i> |
| 6. <i>Solenoid valve</i> | |

Gambar 1: Skema instalasi penelitian

Tahap selanjutnya adalah membuat campuran bahan bakar biodiesel-bentonit sesuai dengan persentase campuran yang akan dilakukan untuk pengujian. Pengambilan bahan bakar biodiesel dan bentonit dengan

menggunakan suntikan dan sendok kecil, lalu dituang pada botol plastic dengan massa biodiesel kelapa sawit sebanyak 10 gram untuk setiap variasi campuran, selanjutnya ditambahkan bentonit sebanya 10%, 20%, dan 30% dari massa biodiesel kelapa sawit.

Tahapan terakhir yaitu pengujian pembakaran *droplet*, hal pertama yang dilakukan yaitu mengambil campuran bahan bakar dengan suntikan 1 ml lalu dimasukkan pada alat pembuat *droplet*, membuat *droplet* dengan diameter 1 mm toleransi $\pm 0,1$ mm lalu diletakkan pada junction termokopel, menyalakan api dengan mengatur debit aliran pada *flowmeter* bahan bakar 10ml/menit. Menekan tombol *record* pada kedua kamera untuk merekam proses pembakaran, dan tombol *start* pada *software* DAQNav-USB4718, lalu simpan data temperatur ke dalam format *file Microsoft excel* dan mematikan api yang digunakan untuk memanaskan *droplet* dengan cara menekan sakelar *solenoid valve*. Selanjutnya melakukan langkah yang sama untuk pengambilan data masing-masing variasi bahan bakar ketika temperatur titik peletakkan *droplet* kembali pada temperatur ruangan kisaran 28°C-30°C. Instalasi alat yang digunakan dalam peneliiian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Penelitian dilakukan pada instalasi yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik pembakaran *idroplet* campuran biodiesel kelapa sawit-etanol. Persentase penambahan bentonit divariasikan sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% dari masa biodiesel kelapa sawit. Diameter *droplet* 1 mm dengan toleransi $\pm 0,1$ mm diletakkan pada *thermocouple junction* yang berfungsi sebagai penyangga dan pembaca temperatur *droplet*. Penyalaan *droplet* dilakukan dengan menggunakan nyala api yang diletakkan pada jarak 10 mm di bawah *droplet*. *Ignition delay* dihitung sejak api mulai memanaskan *droplet* sampai timbulnya nyala api pada *droplet*. Setelah diketahui ukuran diameter *droplet* dan lama nyala api untuk semua variasi campuran bahan bakar, maka nilai dari konstanta *burning rate* dapat dicari melalui persamaan di bawah ini:

$$d^2 = d_0^2 - Kt \quad (1)$$

Maka:

$$K = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (2)$$

Keterangan:

- K = Konstanta *burning rate* (mm²/s)
- d = diameter *droplet* pada waktu t (mm)
- d_0 = diameter awal *droplet* (mm)

2.2 Alat dan bahan

Metode yang digunakan pada peniltian ini yaitu metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*), yaitu melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek penelitian untuk memperoleh data empiris. Dari objek yang diteliti akan didapatkan data berupa visualisasi gambar dan temperatur nyala api yang nantinya akan diolah sehingga mendapatkan temperatur maksimum api, *ignition delay*, dan *konstanta burning rate*. Dari data dan hasil pengolahan data dibuat suatu grafik yang membentuk kecenderungan. Dari grafik tersebut dapat dibandingkan dan ditarik kesimpulan tentang objek yang diteliti yaitu karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel-bentonit.

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk menunjang pengambilan data dalam penelitian. Adapun alat yang digunakan adalah:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1. Botol plastik | 6. Botol gas butan |
| 2. Alat pemebentuk <i>droplet</i> | 7. Kamera |
| 3. Termokopel | 8. Tripod |
| 4. Data <i>logger</i> | 9. Laptop |
| 5. Selang | 10. <i>Flowmeter</i> |

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Biodiesel kelapa sawit

2. Bentonit
3. Butan

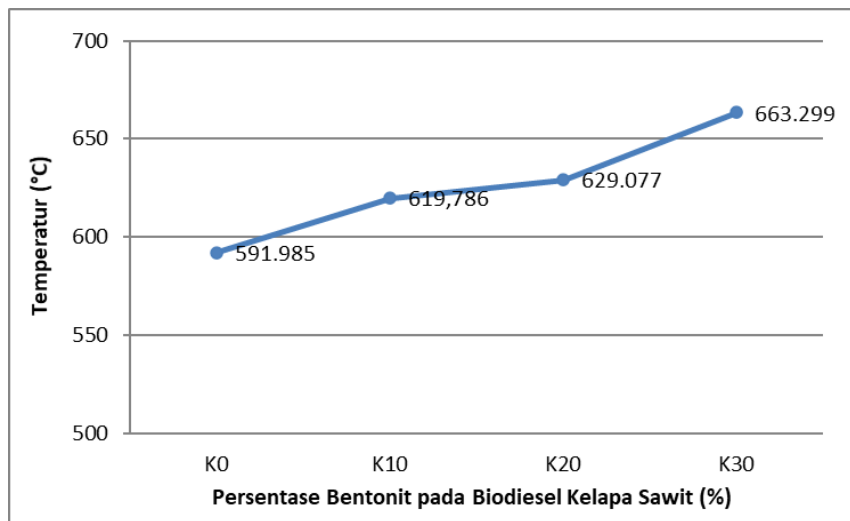
3 HASIL DAN DISKUSI

Data hasil penelitian diperoleh dari penelitian eksperimental pembakaran *droplet* campuran biodiesel kelapa sawit-bentonit dengan variasi persentase penambahan bentonit di dalam campuran sebesar 0% (B0), 10% (B10), 20% (B20), dan 30% (B30). Data yang telah diambil akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisa pengaruh persentase campuran biodiesel kelapa sawit-bentonit terhadap karakteristik pembakaran *droplet*. Pengambilan data yang dilakukan antara lain adalah temperatur maksimum api, *ignition delay*, dan *konstanta burning rate*.

Table 2: Data hasil pengujian pembakaran *droplet* pada berbagai persentase campuran biodiesel kelapa sawit-bentonit

NO	PERSENTASE CAMPURAN	TEMPERATUR MAKSIMUM API (°C)	IGNITION DELAY (s)	KONSTANTA BURNING RATE (mm ² /s)
1	B0	591.985	0.443	1.970
2	B10	619.786	0.446	1.900
3	B20	629.077	0.500	1.162
4	B30	663.299	0.510	0.891

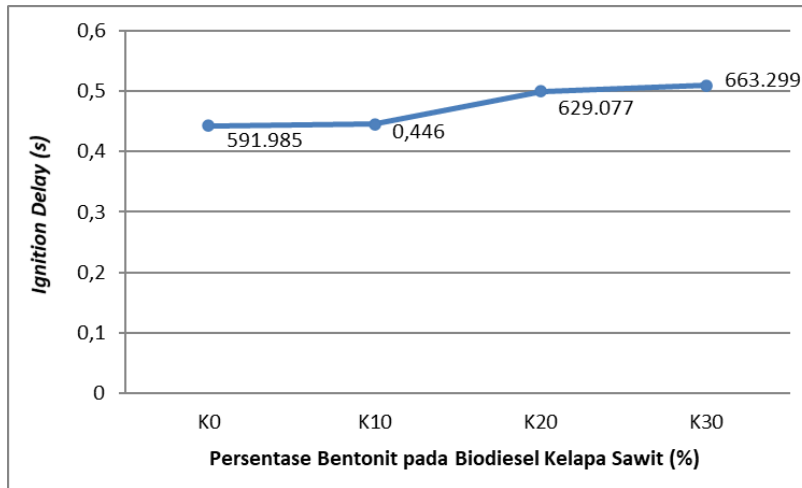
3.1 Temperatur maksimum api



Gambar 2: Grafik pengaruh penambahan bentonit pada biodiesel kelapa sawit terhadap temperatur maksimum api

Pada Gambar 2 menunjukkan komposisi B30 mempunyai nilai maksimum temperature api tertinggi dibandingkan dengan komposisi campuran yang lain, yaitu sebesar 663,299°C. Sedangkan nilai temperature maksimum paling rendah diperoleh pada komposisi E0 yaitu sebesar 391,985°C. Pada range campuran dalam penelitian ini, semakin tinggi penambahan persentase bentonit pada biodiesel kelapa sawit akan menyebabkan peningkatan nilai maksimum temperatur api. Hal ini mengindikasikan bahwa katalis mampu memperlebar jarak antara rantai karbon dan membuat elektron tereksitasi karena atom hydrogen ditarik oleh katalis sehingga meningkatkan laju reaksi.

3.2 Ignition delay



Gambar 3: Grafik pengaruh penambahan bentonit pada biodiesel kelapa sawit terhadap *ignition delay*

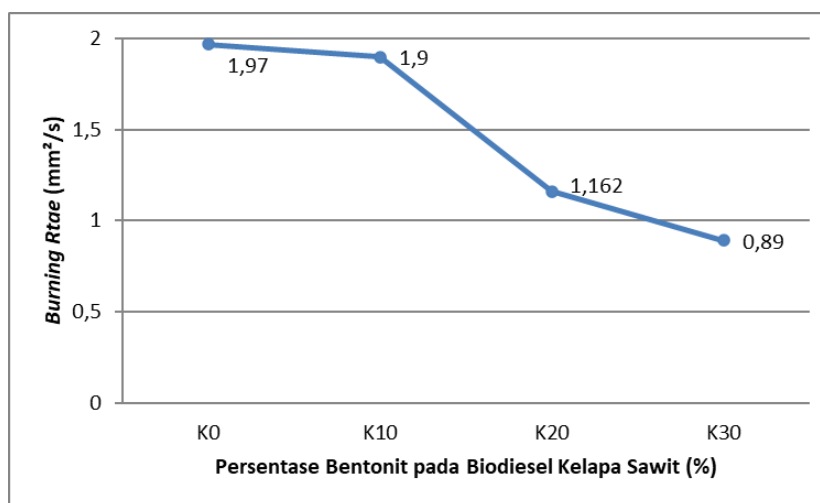
Grafik pengaruh persentase campuran biodiesel kelapa sawit-bentonit terhadap *ignition delay* terlihat pada gambar di atas. Reaksi sebelum pembakaran yaitu antara udar dan bahan bakar merupakan faktor kunci yang menentukan lama waktu *ignition delay*. Umumnya *ignition delay* meliputi penundaan secara fisika seperti penguapan, pemanasan *droplet*, difusi molekular dengan udara, dan penundaan secara kimia [9]. Dalam range penambahan dalam penelitian ini, didapatkan bahwa semakin besar persentase penambahan bentonit maka nilai *igniton delay* dari *droplet* bahan bakar biodiesel semakin menurun. Nilai *ignition delay* terendah pada B0 yaitu selama 0,443 detik dan nilai *ignition delay* tertinggi ada pada B30 yaitu selama 0,51 detik. *Ignition delay* mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase campuran bentonit terhadap biodiesel kelapa sawit.

3.3 Konstanta burning rate

Besarnya diameter *droplet* dipengaruhi proses evaporasi dan pembakaran. Karena itu pengukuran pada setiap variasi perubahan diameter *droplet* yang disebabkan penguapan dalam eksperimental adalah metode yang paling baik untuk menguji karakteristik pembakaran dari *droplet* bahan bakar. *Konstanta burning rate* dari *droplet* selama proses pembakaran merupakan parameter penting dalam proses pembakaran dan dapat ditentukan dengan persamaan 3.

$$d(t)^2 = d_0^2 - Kt \tag{3}$$

dimana d_0 merupakan diameter *droplet* awal (mm), $d(t)^2$ adalah diameter *droplet* (mm), t menyatakan lama waktu pembakaran (sec) dan K adalah *konstanta burning rate* (mm²/s).



Gambar 3: Grafik pengaruh penambahan bentonit pada biodiesel kelapa sawit terhadap *konstanta burning rate*

Grafik pengaruh persentase penambahan bentonit pada biodiesel kelapa sawit terhadap *konstanta burning rate*

terlihat pada Gambar 3. Di mana nilai *burning rate* tertinggi pada B0 dengan nilai 1,97 mm²/s sedangkan yang terendah pada B30 yaitu dengan nilai 0,891 mm²/s. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan oksigen pada biodiesel kelapa sawit lebih tinggi dibanding kandungan oksigen pada bentonit, sehingga semakin banyak penambahan persentase bentonit akan memperkecil jumlah kandungan oksigennya. Kandungan oksigen pada bahan bakar dapat mempercepat reaksi pembakaran, karena saat bahan bakar dipanaskan atom oksigen akan bereaksi dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen) sehingga pembakarannya semakin cepat dan nilai *burning rate* semakin tinggi. [6]

Dapat diamati penambahan nano partikel bentonit pada bahan bakar biodiesel kelapa sawit menghasilkan penurunan nilai konstanta *burning rate droplet*. Hal ini dimungkinkan karena turunnya tekanan penguapan dalam fase bahan bakar dan formula campuran yang besar. Tingkat penurunan yang paling besar yaitu pada penambahan persentase bentonit yang paling tinggi B30 dimana konstanta *burning rate* menurun 54,77 % dibandingkan biodiesel murni B0.

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Penambahan bentonit dapat meningkatkan temperatur maksimum pada pembakaran *droplet*.
- 2 *Ignition delay* mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase bentonit pada biodiesel kelapa sawit karena bentonit.
- 3 Semakin tinggi persentase campuran bentonit menyebabkan nilai *konstanta burning rate* terhadap pembakaran biodiesel kelapa sawit semakin rendah karena kandungan oksigennya semakin rendah.

5 PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Motor Bakar Fakultas Teknik universitas Brawijaya yang telah memberi kesempatan melakukan penelitian.

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. MAHENDRA REDDY, *et al.*, *Combustion characteristics of biodiesel fuel in high recirculation conditions*, *Fuel Process. Technol.* 2014
- [2] YI WU, *et al.*, *Laminar flame speed of lignocellulosic biomass-derived oxygenates and blends of gasoline/oxygenates*, *Fuel* 202 (2017).
- [3] M_ARCIO DE ALMEIDA D_AGOSTO, *et al.*, *Comparative study of emissions from stationary engines using biodiesel made from soybean oil, palm oil and waste frying oil*, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 70. 2017
- [4] WILSON MERCHAN, H.O.T. Ware, *Study of carbon and carbonemetal particulates in a canola methyl ester air-flame*, *Combust. Flame.* 2015
- [5] G.J. XU, *et al.*, *The production and affect factors of biodiesel carbonyl pollutants in the premixed flame conditions*, *Kung Cheng JeWu LI Hsueh Pao J. Eng. Thermophys.* 2011
- [6] ABUKHADRA MR, SAYED MA. *Ktrapped kaolinite (Kaol/K) as low cost and ecofriendly basic heterogeneous catalyst in the transesterification of commercial waste cooking oil into biodiesel*. *Energy Convers Manage* 2018;177:468–76.
- [7] TAN SX, LIM S, ONG HC, PANG YL. *State of the art review on development of ultrasound-assisted catalytic transesterification process for biodiesel production*. *Fuel* 2019;235:886–907.
- [8] RABIE AM, SHABAN M, ABUKHADRA MR, HOSNY R, AHMED SA, NEGM NA. *Diatomite supported by CaO/MgO nanocomposite as heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste cooking oil*. *J Mol Liq* 2019;279:224–31.
- [9] DANG TH, CHEN BH, LEE DJ. *Optimization of biodiesel production from transesterification of triole in using zeolite LTA catalysts synthesized from kaolin clay*. *J Taiwan Inst Chem Eng* 2017;79:14–22.
- [10] R.EL-ARABY, ASHRAFAMIN, A.K.EL MORSI, N.N.EL-IBIARI, G.I.EL-DIWANI, *Study on the characteristics of palm oil–biodiesel–diesel fuel blend*. *Egyptian Journal of Petroleum*.ed.27.2018
- [11] AVULAPATI MM, GANIPPA LC, XIA J, MEGARITIS A. *Puffing and micro-explosion of diesel–biodiesel–ethanol blends*. *Fuel* 2016;166:59–66
- [12] CHANG Y, LEE W, WU TS, WU C, CHEN S. *Use of water containing acetonebutanol-ethanol for NO-PM (nitrogen oxide-particulate matter) trade-off in the diesel engine fueled with biodiesel*. *Energy* 2014;64:678e87.
- [13] YU ZHANG, RONGHUA HUANG ,ZHAOWEN WANG, SHIJIE XU, SHENG HUANG, YINJIE MA.

- Experimental study on puffing characteristics of biodiesel-butanol *Droplet*.ed.109.2017
- [14] I.L. LUCENA, *et al*, *Biodiesel production by esterification of oleic acid with methanol using a water adsorption apparatus*, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2008
- [15] CELIK M, YUCESU HS, GURU M. Investigation of the effects of organic based manganese addition to biodiesel on combustion and exhaust emissions. *Fuel Process Technol* 2016;152:83e92.
- [16] YU ZHANG, RONGHUA HUANG, YUHAN HUANG, SHENG HUANG,XI CHEN, TIAN QIN, PEI ZHOU Modelling of blended Diesel and biodiesel fuel *droplet* heating and evaporation. *Energy*.ed.160.2018. Hendry Y. Nanlohy
- [17] CHI-YAO CHAO, HSUAN-WEI TSAI, KUO-LONG PAN , CHIH-WEI HSIEH On the microexplosion mechanisms of burning *droplets* blended with biodiesel and alcohol. *Combustion and Flame* .ed.205.2019
- [18] CHI-YAO CHAO, HSUAN-WEI TSAI, KUO-LONG PAN CHIH-WEI HSIEH. On the microexplosion mechanisms of burning *droplets* blended with biodiesel and alcohol.*Energy*.ed.205.2019
- [19] M. AL QUBEISSI, S.S. SAZHIN, A.E. ELWARDANY. Modelling of blended Diesel and biodiesel fuel *droplet* heating and evaporation.*flame and combustion*.ed.87.2017
- [20] CHAUHAN BS, KUMAR N, CHO HM, LIM HC. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Karanja biodiesel and its blends. *Energy* 2013;56:1e7.
- [21] CELIK M, YUCESU HS, GURU M. Investigation of the effects of organic based manganese addition to biodiesel on combustion and exhaust emissions. *Fuel Process Technol* 2016;152:83e92.
- [22] GURJAP SINGH, MEHDI ESMAEILPOUR, ALBERT RATNER. The effect of acetylene black on *droplet* combustion and flame regime of petrodiesel and soy biodiesel. *Fuel*.ed.246.2019
- [23] I.N.G. WARDANA, NURKHOLIS HAMIDI, LILIS YULIATI, TOSHIHISA UEDA The effect of Rh³⁺ catalyst on the combustion characteristics of crude vegetable oil *droplets*. *Fuel*.ed.220.2018
- [24] GHAMARI M, RATNER A. Combustion characteristics of colloidal *droplets* of jet fuel and carbon based nanoparticles. *Fuel* 2017;188:182–9.
- [25] ABUKHADRA MR, MOSTAFA M. Effective decontamination of phosphate and ammonium utilizing novel muscovite/phillipsite composite; equilibrium investigation and realistic application. *Sci Total Environ* 2019;667:101–11.
- [26] LIU Y, YAN C, ZHAO J, ZHANG Z, WANG H, ZHOU S, et al. Synthesis of zeolite P1 from fly ash under solvent-free conditions for ammonium removal from water. *J Clean Prod* 2018;202:11–22.
- [27] MOSTAFA R. ABUKHADRA, SHERUOUK M. IBRAHIM, SOBHY M. YAKOUT, MOHAMMED E. EL-ZAIDY, AHMED A. ABDELTAWAB. 2019. Synthesis of Na⁺ trapped bentonite/zeolite-P composite as a novel catalyst for effective production of biodiesel from palm oil; Effect of ultrasonic irradiation and mechanism. *Energy Conversion and Management*. Vol. 196, pp. 739-750.
- [28] KUO, K. K. 2005. *Principle of combustion*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [29] DEWI, R. 2012. Pengaruh daya penyinaran gelombang mikro terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak pagar. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 3, No.2*.305-316.