

# PENGARUH PENAMBAHAN BIODIESEL KEMIRI SUNAN DAN TEKanan RUANG BAKAR TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET MINYAK DIESEL (SOLAR)

Joko Nugroho, Purnami, Nurkholis Hamidi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjend Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail : ir.joko.nugroho@gmail.com

## Abstrak

*Kemiri sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) merupakan tanaman yang sangat berpotensi menjadi bahan baku pembuatan biodiesel. Biodiesel hasil olahan dari minyak kemiri sunan memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan solar. Namun penggunaan biodiesel kemiri sunan murni (B100) tidak dianjurkan digunakan secara langsung pada mesin diesel, karena dapat melarutkan komponen yang terbuat dari polimer karet. Oleh sebab itu perlu dilakukan percampuran (blending) biodiesel kemiri sunan dengan solar agar dapat digunakan secara langsung pada mesin diesel. Penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar dapat mempengaruhi karakteristik pembakarannya. Selain itu peningkatan tekanan ruang bakar juga berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran campuran biodiesel kemiri sunan dan solar. Hasil yang diperoleh selama penelitian yaitu, penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar dapat meningkatkan nilai burning rate, temperatur pembakaran dan lebar nyala api. Namun dapat dapat menurunkan nilai ignition delay, dan tinggi nyala api. Sedangkan peningkatan tekanan ruang bakar pada pembakaran biodiesel kemiri sunan dan solar dapat meningkatkan nilai burning rate, temperatur pembakaran, dan ignition delay pada B0, B25 dan B50. Namun dapat menurunkan tinggi nyala api, lebar nyala api dan ignition delay pada B75 dan B100.*

**Kata kunci:** karakteristik pembakaran, biodiesel kemiri sunan, droplet, tekanan ruang bakar.

## PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya konsumsi energi di Indonesia, dan ketergantungan masyarakat yang tinggi terhadap energi dari bahan bakar fosil menyebabkan ketersediaan energi dari bahan bakar fosil semakin menipis. Hal itu disebabkan selisih (*gap*) antara produksi dengan konsumsi bahan bakar fosil semakin melebar setelah Indonesia menjadi net importer (negara importir) minyak semenjak 2004.

Sehingga untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sumber energi baru/alternatif yang dapat diperbarui (*renewable*). Salah satu sumber energi yang sangat berpotensi untuk dikembangkan yaitu penggunaan bahan bakar biodiesel dari minyak nabati. Penggunaan bahan baku biodiesel dari minyak yang dapat dimakan (*edible oil*) seperti minyak sawit, kelapa, kemiri sayur, biji bunga matahari dapat menyebabkan terganggunya stabilitas

harga dan ketersediaan minyak pangan dipasaran. Berkenaan dengan hal tersebut, pengembangan biodiesel lebih diarahkan dengan menggunakan minyak nabati nonpangan. Salah satu tumbuhan nonpangan yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel adalah kemiri sunan (*Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw*). Kemiri sunan berbeda dengan kemiri sayur (*Aleurites Moluccana*), karena kemiri sunan mengandung racun, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi.

Keuntungan dari penggunaan kemiri sunan yaitu dari sisi produktivitas minyak, kemiri sunan lebih baik dari tanaman penghasil minyak nabati lain, seperti jarak pagar dan nyamplung yaitu rendeman minyak kasarnya sekitar 52% dari kernel. Selain itu bentuk kemiri sunan yang berupa pohon, memudahkan dilakukannya tumpang sari dengan tanaman lain, dapat tumbuh di lahan kritis, dapat meningkatkan kesuburan tanah, serta memiliki umur

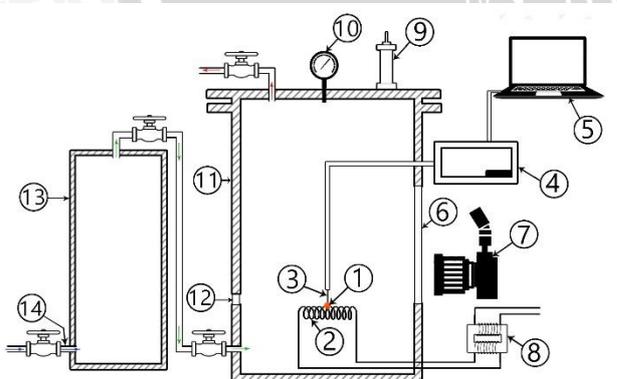
produksi yang panjang [1].

Salah satu permasalahan minyak nabati yaitu tidak dapat digunakan secara langsung sebagai pengganti bahan bakar solar/diesel, karena viskositasnya yang tinggi. Viskositas bahan bakar yang tinggi dapat mengakibatkan daya atomisasi rendah sehingga dan menyebabkan mesin kehilangan tenaga [2].

Salah satu upaya untuk menurunkan viskositas minyak nabati yaitu dengan mengolahnya menjadi biodiesel baik dengan cara esterifikasi, maupun transesterifikasi. Minyak nabati yang sudah diolah menjadi biodiesel dapat digunakan langsung dalam keadaan murni atau dicampur (*blending*) dengan solar tanpa melakukan modifikasi mesin [3]. Namun biodiesel merupakan ester yang dapat melunakkan polimer karet, sehingga bahan tersebut harus diganti dengan bahan yang tahan terhadap ester. Sebagai alternatif dilakukan pencampuran antara solar dan biodiesel dengan perbandingan tertentu. Campuran ini dapat digunakan secara langsung tanpa memerlukan penggantian komponen yang terbuat dari bahan karet.

### METODE PENELITIAN

Biodiesel yang digunakan pada penelitian berasal dari minyak kemiri sunan, sedangkan solar yang digunakan berasal dari SPBU. Pada penelitian juga digunakan alat-alat yang disusun dengan skema instalasi seperti pada gambar 1.



Keterangan:

- |            |                 |
|------------|-----------------|
| 1. Droplet | 3. Thermocouple |
| 2. Heater  | 4. Data logger  |

- |                    |   |
|--------------------|---|
| 5. Laptop          | 11. Ruang uji bakar                     |
| 6. Jendela         | 12. Lubang untuk alat pembentuk droplet |
| 7. Kamera          | 13. Air dryer                           |
| 8. Transformator   | 14. Air cock                            |
| 9. Safety valve    |   |
| 10. Pressure Gauge |   |

Variabel bebas pada penelitian ini antara lain variasi kadar campuran biodiesel minyak kemiri sunan pada minyak solar, yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Serta variasi tekanan (*absolute*) dalam ruang bakar, yaitu sebesar 1 atm, 3 atm, dan 5 atm. Variabel kontrolnya yaitu daya *heater* sebesar 100 watt dan temperatur ruang uji bakar dijaga antara 25-30°C. Sedangkan variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini yaitu, *burning rate*, *ignition delay*, temperatur pembakaran, dan dimensi nyala api.

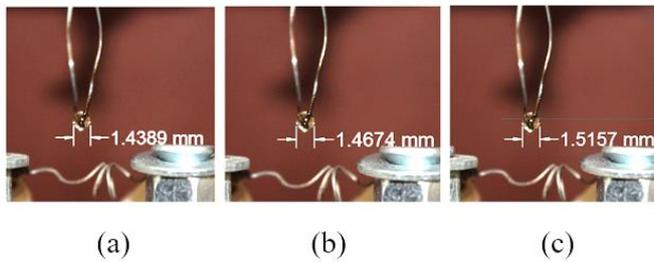
Penelitian dimulai dengan mencampurkan biodiesel kemiri sunan dan solar secara mekanik berdasarkan persentase volume yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian campuran tersebut dimasukkan ke *microliter syringe*, untuk kemudian diteteskan pada *thermocouple* sehingga terbentuk droplet yang menggantung pada *thermocouple*. Lalu droplet yang terbentuk, di foto dengan kamera. Setelah itu udara bertekanan dialirkan melalui kompresor sesuai dengan tekanan yang telah ditentukan sebelumnya menuju pengering udara (*air dryer*) sebagai perangkat uap air dari udara jika mengalami pengembunan akibat proses kompresi agar tidak ikut masuk ke dalam ruang uji bakar. Kemudian udara bertekanan dari *air dryer* dialirkan menuju ruang uji bakar. Lalu *heater* di nyalakan agar droplet terbakar dan selama proses pembakaran, waktu dan nyala api direkam oleh kamera. Setelah proses pembakaran selesai, katup gas buang dibuka dan ditunggu sampai suhu ruang uji bakar turun menjadi 25-30°C. Setelah suhu ruang uji bakar telah mencapai 25-30°C, kemudian dilanjutkan dengan penelitian selanjutnya menggunakan persentase campuran biodiesel-solar dan variasi tekanan ruang bakar yang telah

ditentukan sebelumnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapat dari penelitian berupa foto *droplet* untuk mengetahui diameter *droplet*, temperatur selama proses pembakaran yang diperoleh dari *thermocouple* dan *data logger*, serta video selama proses pembakaran untuk mengetahui waktu *ignition delay*, *burning rate lifetime*, dan dimensi api.

Diameter *droplet* diukur menggunakan *software AUTOCAD 2016* dengan acuan skala dari foto penggaris yang ada di ruang uji bakar, seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Diameter *droplet* B0 pada tekanan (a) 1 atm, (b) 3 atm, dan (c) 5 atm.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai *burning rate*, data dari diameter *droplet* dan *burning rate lifetime* disubstitusikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$d^2 = d_0^2 - \beta_0 t$$

$$\beta_0 = \left( \frac{d_0^2 - d^2}{t} \right)$$

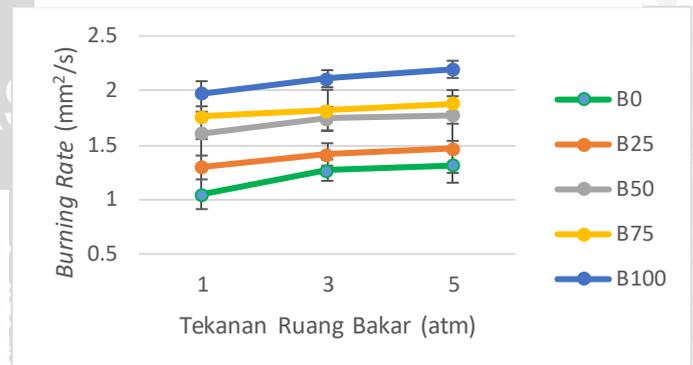
dimana :

- $d_0$  : diameter awal *droplet* (mm)
- $d$  : diameter *droplet* dalam waktu tertentu (mm)
- $\beta_0$  : *burning rate* (mm<sup>2</sup>/s)
- $t$  : *burning rate lifetime* (detik).

#### A. Pengaruh Penambahan Biodiesel Kemiri Sunan dan Tekanan Ruang Bakar Terhadap *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Solar.

Tabel 1. Data *burning rate* hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

Persentase Biodiesel (%)	<i>Burning Rate</i> (mm <sup>2</sup> /s)		
	1 atm	3 atm	5 atm
0%	1.048	1.269	1.311
25%	1.298	1.413	1.469
50%	1.604	1.739	1.771
75%	1.764	1.820	1.876
100%	1.970	2.108	2.194



Gambar 3. Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* solar.

Pada gambar 3 dapat diketahui hubungan prosentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap *burning rate* pada tekanan konstan. B100 pada 5 atm mempunyai nilai *burning rate* tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 2,194 mm<sup>2</sup>/s. Sedangkan B0 (solar) pada 1 atm mempunyai nilai *burning rate* terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 1,048 mm<sup>2</sup>/s. Semakin tinggi persentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar akan meningkatkan nilai *burning rate*. Hal ini terjadi dikarenakan biodiesel memiliki atom oksigen pada molekulnya sedangkan solar tidak memiliki atom oksigen pada molekulnya. Kandungan oksigen pada biodiesel kemiri sunan dapat mempercepat reaksi pembakaran. Selain itu biodiesel kemiri sunan juga memiliki ikatan rangkap, sedangkan solar hanya memiliki ikatan tunggal. Ikatan rangkap pada biodiesel dikenal cukup reaktif dan mudah

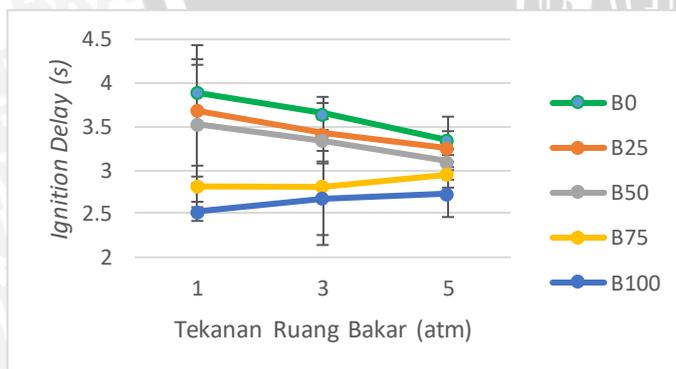
beroksidasi dibandingkan ikatan tunggal pada solar yang lebih stabil. Oleh karena itu dengan adanya ikatan rangkap pada biodiesel akan mempercepat reaksi pembakaran [4].

Seiring peningkatan tekanan pada ruang bakar, akan meningkatkan nilai *burning rate*. Hal ini dikarenakan penambahan tekanan pada ruang bakar dapat meningkatkan pembentukan uap pada permukaan droplet, dengan meningkatnya pembentukan uap dapat mempermudah terjadinya reaksi pembakaran (oksidasi), sehingga laju reaksi pembakarannya semakin meningkat seiring peningkatan tekanan ruang bakar.

B. Pengaruh Penambahan Biodiesel Kemiri Sunan dan Tekanan Ruang Bakar Terhadap *Ignition Delay* Pembakaran *Droplet* Solar.

Tabel 2. Data *ignition delay* hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar

Persentase Biodiesel (%)	<i>Ignition Delay</i> (s)		
	1 atm	3 atm	5 atm
0%	3.887	3.651	3.344
25%	3.680	3.423	3.252
50%	3.049	3.342	3.104
75%	2.813	2.819	2.948
100%	2.527	2.681	2.731



Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* solar.

Pada gambar 4 dapat diketahui hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap *ignition delay*. B0 pada 1 atm mempunyai nilai *ignition delay* tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 3,887 detik. Sedangkan B100 pada 1 atm mempunyai nilai *ignition delay* terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 2,527 detik. Semakin tinggi persentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar akan menurunkan nilai *ignition delay*. Hal ini dikarenakan biodiesel memiliki *cetane number* yang lebih tinggi yaitu sebesar 54,7 dibandingkan solar yang hanya memiliki *cetane number* sebesar 48. Semakin tinggi *cetane number* maka bahan bakar akan mudah terbakar sehingga dapat mempersingkat keterlambatan waktu penyalaan/*ignition delay* [5]. Selain itu biodiesel mempunyai temperatur *autoignition* lebih kecil dibandingkan solar, yaitu sebesar 177°C sedangkan solar mempunyai temperatur *autoignition* sekitar 300°C [6]. Semakin kecil nilai temperatur *autoignition*, maka bahan bakar akan mudah terbakar secara spontan.

Pada B0, B25 dan B50 *ignition delay* mengalami penurunan seiring peningkatan tekanan ruang bakar. Hal ini dikarenakan peningkatan tekanan akan meningkatkan temperatur ruang bakar. Peningkatan temperatur tersebut dapat mempercepat proses penguapan pada solar, sehingga memudahkan *droplet* untuk terbakar. Namun pada B75 dan B100 *ignition delay* mengalami peningkatan seiring peningkatan tekanan ruang bakar. Hal ini dikarenakan peningkatan temperatur akibat penambahan tekanan tidak cukup untuk mempercepat proses penguapan biodiesel kemiri sunan, karena biodiesel kemiri sunan memiliki titik didih lebih tinggi dibandingkan solar. Selain itu meningkatnya tekanan pada ruang bakar, juga akan meningkatkan temperatur penguapan bahan bakar. Semakin tinggi temperatur penguapan bahan bakar, maka bahan bakar akan sangat sulit terbakar, sehingga akan menaikkan nilai *ignition delay*.

C. Pengaruh Penambahan Biodiesel Kemiri Sunan dan Tekanan Ruang Bakar Terhadap Temperatur Maksimal Pembakaran *Droplet* Solar.

Tabel 3. Data temperatur api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar

Persentase Biodiesel (%)	Temperatur Api ( $^{\circ}\text{C}$ )		
	1 atm	3 atm	5 atm
0%	434.7952	510.1387	522.3425
25%	442.3972	534.5565	542.5103
50%	449.8626	556.6852	575.4507
75%	465.189	570.0992	595.1114
100%	492.0294	604.0492	631.9792



Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap temperatur maksimal pembakaran *droplet* solar.

Pada gambar 5 dapat diketahui hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap temperatur maksimal selama proses pembakaran. B100 pada 5 atm mempunyai nilai temperatur maksimal tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 631,9792  $^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan B0 pada 1 atm mempunyai nilai temperatur maksimal terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 434,7952  $^{\circ}\text{C}$ . Semakin tinggi persentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar akan menurunkan temperatur pembakaran. Hal ini dikarenakan biodiesel memiliki atom oksigen pada molekulnya, sehingga

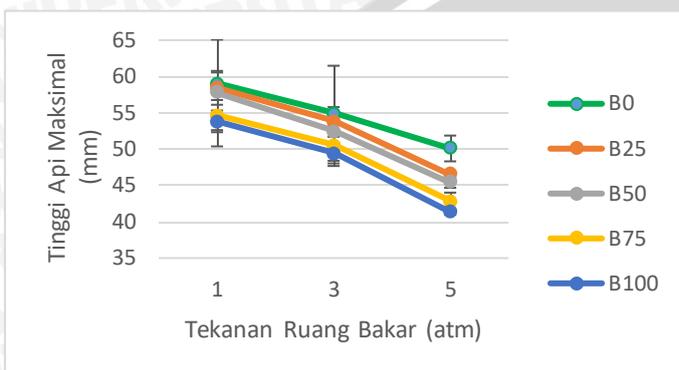
memungkinkan untuk terjadinya pembakaran sempurna dimana oksigen pada molekul biodiesel bereaksi dengan atom karbon dan hidrogen pada biodiesel membentuk senyawa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Sedangkan solar tidak memiliki atom oksigen pada molekulnya, sehingga kemungkinan terjadinya pembakaran tidak sempurna pada pembakaran solar cukup tinggi, dimana hasil pembakarannya dapat membentuk senyawa  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan C (karbon/jelaga).  $\text{CO}_2$  memiliki entalpi pembentukan sebesar -393 kJ, sedangkan CO memiliki entalpi pembentukan lebih rendah yaitu sebesar -110 kJ. Semakin besar nilai entalpi pembentukan, maka temperatur pembakaran yang dihasilkan juga semakin meningkat, sehingga seiring meningkatnya penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar akan meningkatkan temperatur pembakarannya.

Seiring peningkatan tekanan pada ruang bakar akan menaikkan temperatur pembakaran. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tinggi tekanan pada ruang bakar, maka akan mempercepat reaksi difusi pembakaran bahan bakar dengan oksigen, selain itu meningkatnya massa udara dari kompresor (untuk meningkatkan tekanan dalam ruang bakar) juga akan menambah jumlah gas oksigen pada ruang bakar. Semakin cepat reaksi difusi pembakaran dan semakin banyaknya jumlah gas oksigen dalam ruang bakar, akan memungkinkan terjadinya pembakaran yang sempurna sehingga menurunkan pembentukan gas CO (karbon monoksida). Semakin kecil gas CO yang dihasilkan maka akan meningkatkan entalpi pembentukan gas  $\text{CO}_2$ , sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan akan semakin meningkat.

D. Pengaruh Penambahan Biodiesel Kemiri Sunan dan Tekanan Ruang Bakar Terhadap Tinggi Api Pembakaran *Droplet* Solar.

Tabel 4. Data tinggi api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar

Persentase Biodiesel (%)	Tinggi Api (mm)		
	1 atm	3 atm	5 atm
0%	59.0826	54.9406	50.0919
25%	58.4379	53.7443	46.4753
50%	57.7301	52.4677	45.3738
75%	54.6909	50.5062	42.8890
100%	53.8212	49.4506	41.3454



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api pembakaran *droplet* solar.

Pada gambar 6 dapat diketahui hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap tinggi api selama proses pembakaran. Tinggi api yang diukur merupakan tinggi api maksimal selama proses pembakaran. B0 pada 1 atm mempunyai nilai tinggi api tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 59,0826 mm. Sedangkan B100 pada 5 atm mempunyai nilai tinggi api terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 41,3454 mm. Semakin tinggi persentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar akan menaikkan tinggi nyala api. Hal ini dikarenakan tinggi nyala api dipengaruhi oleh laju reaksi pembakaran. Biodiesel kemiri sunan memiliki laju pembakaran yang lebih cepat dibandingkan dengan solar, seperti terlihat pada grafik gambar 3. Semakin tinggi persentase biodiesel yang ditambahkan

pada solar maka laju reaksi pembakarannya akan meningkat. Semakin meningkat laju reaksi pembakaran maka waktu nyala api yang dihasilkan relatif singkat sehingga tinggi api yang dihasilkan semakin menurun.

Seiring penambahan tekanan pada ruang bakar akan menurunkan tinggi nyala api. Hal ini dikarenakan penambahan tekanan dapat meningkatkan reaksi difusi bahan bakar dengan oksigen. Semakin meningkat reaksi pembakaran difusi bahan bakar dengan oksigen, maka waktu nyala api yang dihasilkan semakin singkat, sehingga tinggi api yang dihasilkan juga semakin menurun.

#### E. Pengaruh Penambahan Biodiesel Kemiri Sunan dan Tekanan Ruang Bakar Terhadap Lebar Api Pembakaran *Droplet* Solar.

Tabel 5. Data lebar api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar

Persentase Biodiesel (%)	Lebar Api (mm)		
	1 atm	3 atm	5 atm
0%	4.9234	3.8642	3.8040
25%	5.2422	4.453	3.9886
50%	5.5455	4.5198	4.0918
75%	5.9007	4.8671	4.2984
100%	6.1066	5.1321	4.6542



Gambar 7. Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api pembakaran *droplet* solar.

Pada gambar 7 dapat diketahui hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap lebar api selama proses pembakaran. Lebar api yang diukur merupakan lebar api maksimal selama proses pembakaran. B100 pada 1 atm mempunyai nilai lebar api tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 6,1066 mm. Sedangkan B0 pada 5 atm mempunyai nilai lebar api terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 3,8040 mm. Seiring penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar lebar nyala api cenderung meningkat walaupun tidak terlalu signifikan. Hal ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan *flash point* antara biodiesel dengan solar, dimana biodiesel kemiri sunan memiliki *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan solar. Perbedaan *flash point* menyebabkan proses pembakaran terjadi secara dua tahap, sehingga menyebabkan nyala api tidak stabil dan memperlebar nyala api.

Seiring penambahan tekanan pada ruang bakar akan menurunkan lebar nyala api. Seperti halnya tinggi api, hal ini dikarenakan penambahan tekanan dapat meningkatkan reaksi difusi bahan bakar dengan oksigen. Semakin meningkat reaksi pembakaran difusi bahan bakar dengan oksigen, maka waktu nyala api yang dihasilkan semakin singkat, sehingga lebar api yang dihasilkan juga semakin menurun.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan data hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar dapat meningkatkan nilai *burning rate*, temperatur pembakaran dan lebar nyala api. Namun dapat dapat menurunkan nilai *ignition delay*, dan tinggi nyala api.
2. Peningkatan tekanan ruang bakar dapat meningkatkan nilai *burning rate*, temperatur pembakaran, dan *ignition delay* pada B0 (solar murni), B25 (biodiesel 25% + solar 75%) dan B50 (biodiesel 50% + solar 50%). Namun

dapat menurunkan tinggi nyala api, lebar nyala api dan *ignition delay* pada B75 (biodiesel 75% + solar 25%) dan B100 (biodiesel murni).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pranowo, Dibyo, *et al.* 2014. *Pembuatan Biodiesel Dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) Dan Pemanfaatan Hasil Samping*. Litbang. Jakarta: IAARD Press.
- [2]. Rodrigues, J., F de P. Cardoso, E. R. Lachter, L. R. M. Estevão, E. Lima, and R. S. V. Naschimento. 2006. *Correlation Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil Ester*. JAOCS .83 (4): 353-357.
- [3]. Xu, G. and Wu. 2003. *The Investigation of Blending Properties of Biodiesel and Diesel Fuel*. Journal of Jiangsu Polytechnic University. 15: 16-18.
- [4]. Kovács, S., GY. Pölczmán, and J. Hancsók. 2011. *Investigation of Storage Stability of Biodiesels*. Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém. Vol. 39(3) pp. 369-373.
- [5]. Nurhadiansah Putra, Eddien dan H. D. Sungkono Kawano. 2012. *Uji Eksperimental Bahan Bakar Campuran Biosolar Dengan Zat Aditif Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Konstan*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 (1): 1-5.
- [6]. Ginley, David S., and David Cahen. 2012. *Fundamental of Materials for Energy and Environmental Sustainability*. ISBN 978-1-107-00023-0. United Kingdom: Cambridge University Press. 2012: 138.