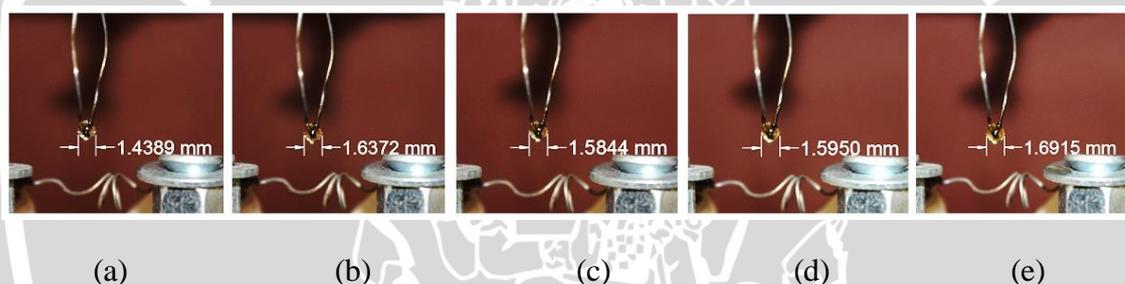


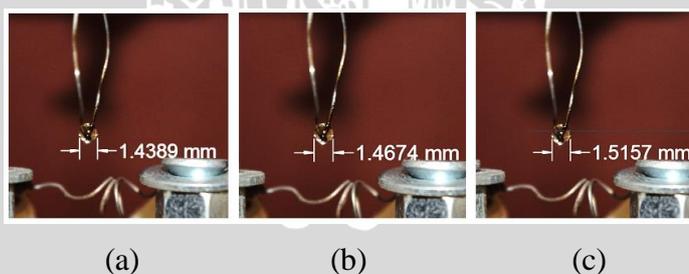
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pembakaran *Droplet*

Pada pengambilan data pengujian karakteristik pembakaran *droplet*, terlebih dahulu dilakukan pembentukan *droplet* campuran biodiesel kemiri sunan dan solar berdasarkan persentase volume solar murni (B0), solar 75% + biodiesel 25% (B25), solar 50% + biodiesel 50%), solar 25% + biodiesel 75% (B75) dan biodiesel murni (B100). Pembentukan *droplet* dilakukan dengan memakai *microliter syringe*, yang nantinya *droplet* hasil bentukan disuntikkan menyentuh ujung *thermocouple* agar *droplet* tidak jatuh dan dapat menggantung pada *thermocouple*. Rata-rata diameter *droplet* yang terbentuk sebesar 1,3215 – 1,884 mm sesuai dengan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Diameter *droplet* (a) B0, (b) B25, (c) B50, (d) B75, (e) B100



Gambar 4.2 Diameter *droplet* B0 pada tekanan (a) 0 bar, (b) 2 bar, dan (c) 4 bar

Pengukuran diameter *droplet* dilakukan dengan menggunakan *software AUTOCAD 2016* menggunakan acuan skala pada penggaris yang berada didalam ruang uji bakar, sehingga akan didapatkan ukuran diameter *droplet* sebenarnya (aktual). Pada variasi tekanan (*gauge*) 0 bar, 2 bar dan 4 bar diameter *droplet* tidak mengalami perubahan ukuran, dikarenakan *droplet* merupakan fluida cair *incompressible*. Setelah

pembuatan droplet, selanjutnya *droplet* di uji pembakarannya untuk mengetahui karakteristik pembakarannya.

4.2 Hasil Pengujian

Pada pengujian pembakaran *droplet* biodiesel kemiri sunan dan solar, data yang diambil meliputi *burning rate*, *ignition delay*, temperatur maksimal, tinggi api dan lebar api. Data yang didapatkan dari pengujian berupa foto diameter *droplet*, temperatur proses pembakaran dari *thermocouple* dan berupa video dari proses awal pembakaran sampai *droplet* habis terbakar. Dari video tersebut nantinya didapatkan data karakteristik pembakaran yang meliputi, *ignition delay time* yang dihitung dari *heater* mulai di nyalakan sampai *droplet* mulai terbakar, dan *burning lifetime* yang dihitung dari *droplet* mulai terbakar hingga *droplet* habis terbakar serta dimensi nyala api (tinggi dan lebar api). Untuk mendapatkan nilai *burning rate*, data dari diameter *droplet* dan *burning lifetime* disubstitusikan dalam persamaan sebagai berikut:

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

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

keterangan:

d_0 : diameter awal *droplet* (mm)

d : diameter *droplet* dalam waktu tertentu (mm)

β_0 : *burning rate* (mm²/s)

t : *burning rate lifetime* (detik)

4.2.1 Tabel Data Pengujian

Tabel 4.1 Data *burning rate* hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

Persentase Biodiesel (%)	<i>Burning Rate</i> (mm ² /s)		
	0 bar	2 bar	4 bar
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

Tabel 4.2 Data *ignition delay* hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

Persentase Biodiesel (%)	Ignition Delay (s)		
	0 bar	2 bar	4 bar
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

Tabel 4.3 Data temperatur api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

Persentase Biodiesel (%)	Temperatur Api (°C)		
	0 bar	2 bar	4 bar
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

Tabel 4.4 Data tinggi api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

Persentase Biodiesel (%)	Tinggi Api (mm)		
	0 bar	2 bar	4 bar
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

Tabel 4.5 Data lebar api hasil pembakaran *droplet* terhadap tekanan ruang bakar.

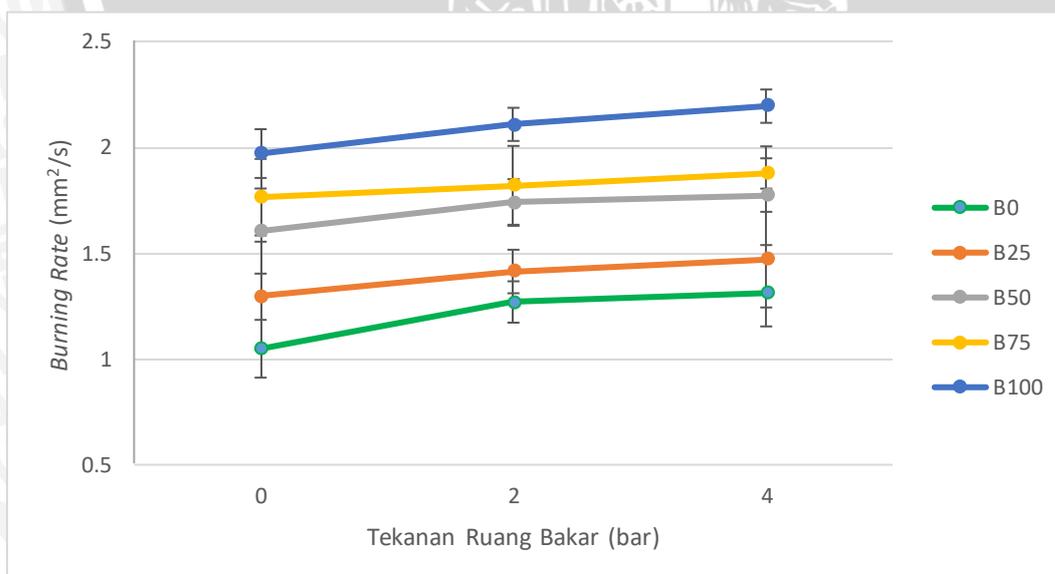
Persentase Biodiesel (%)	Lebar Api (mm)		
	0 bar	2 bar	4 bar
0%	4.9234	3.8642	3.8040
25%	5.2422	4.453	3.9886
50%	5.5455	4.5198	4.0918
75%	5.9007	4.8671	4.2984
100%	6.1066	5.1321	4.6542

4.3 Analisa dan Pembahasan

Dari data tabel hasil penelitian, kemudian dianalisa dalam bentuk grafik, dengan keterangan sebagai berikut:

- B0 = Solar murni (Solar 100%)
- B25 = Biodiesel 25% + Solar 75%
- B50 = Biodiesel 50% + Solar 50%
- B75 = Biodiesel 75% + Solar 55%
- B100 = Biodiesel murni (Biodiesel 100%)

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



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* solar.

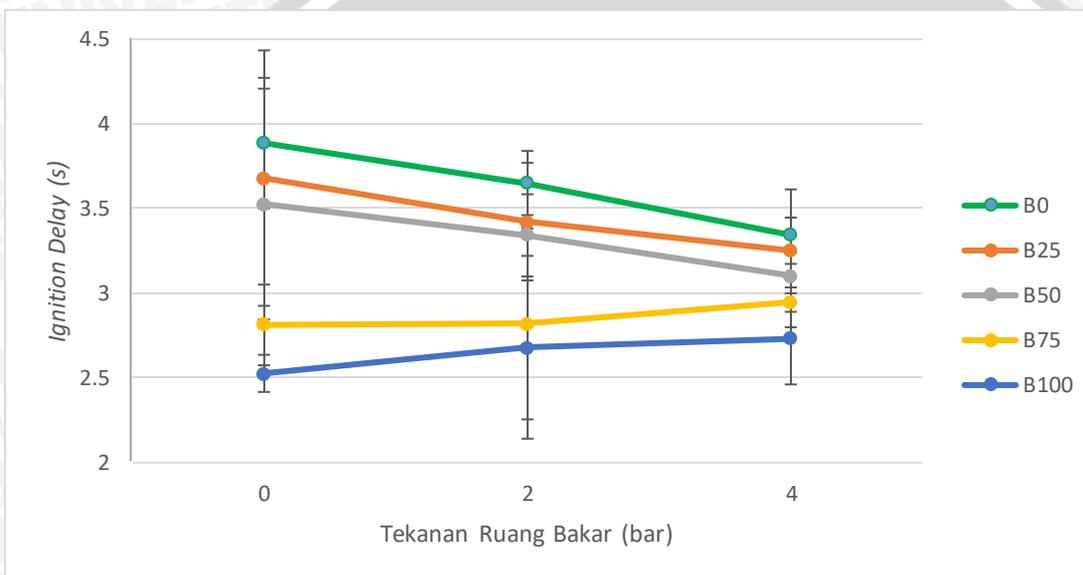
Gambar 4.3 menunjukkan hubungan persentase penambahan biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap *burning rate* pada tekanan konstan. B100 pada 4 bar mempunyai nilai *burning rate* tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 2,194 mm²/s. Sedangkan B0 (solar) pada 0 bar mempunyai nilai *burning rate* terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 1,048 mm²/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, karena saat biodiesel dipanaskan atom oksigen pada biodiesel akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen) pada biodiesel, sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya semakin cepat, dan nilai *burning ratenya* semakin tinggi. 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 (Kovács *et al*, 2011).

Hubungan tekanan ruang bakar terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* campuran biodiesel kemiri sunan dan solar juga terlihat pada Gambar 4.3. Seiring peningkatan tekanan pada ruang bakar, akan meningkatkan nilai *burning rate*. Hal ini dikarenakan penambahan tekanan pada ruang bakar dapat mempercepat 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.

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

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap *ignition delay* pada tekanan konstan. B0 pada 0 bar mempunyai nilai *ignition delay* tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 3,887 detik. Sedangkan B100 pada 0 bar 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 (Anggraini, 2013) dibandingkan solar yang

hanya memiliki *cetane number* sebesar 48. *Cetane number* merupakan index angka yang menunjukkan kemampuan suatu bahan bakar untuk mudah terbakar secara spontan. Semakin tinggi *cetane number* maka bahan bakar akan mudah terbakar sehingga dapat mempersingkat keterlambatan waktu penyalaan/*ignition delay* (Nurhadiansyah, 2012). Selain itu biodiesel mempunyai temperatur *autoignition* lebih kecil dibandingkan solar, yaitu sebesar 177°C sedangkan solar mempunyai temperatur *autoignition* sekitar 300°C . (Ginley, 2012). Semakin kecil nilai temperatur *autoignition*, maka bahan bakar akan mudah terbakar secara spontan.

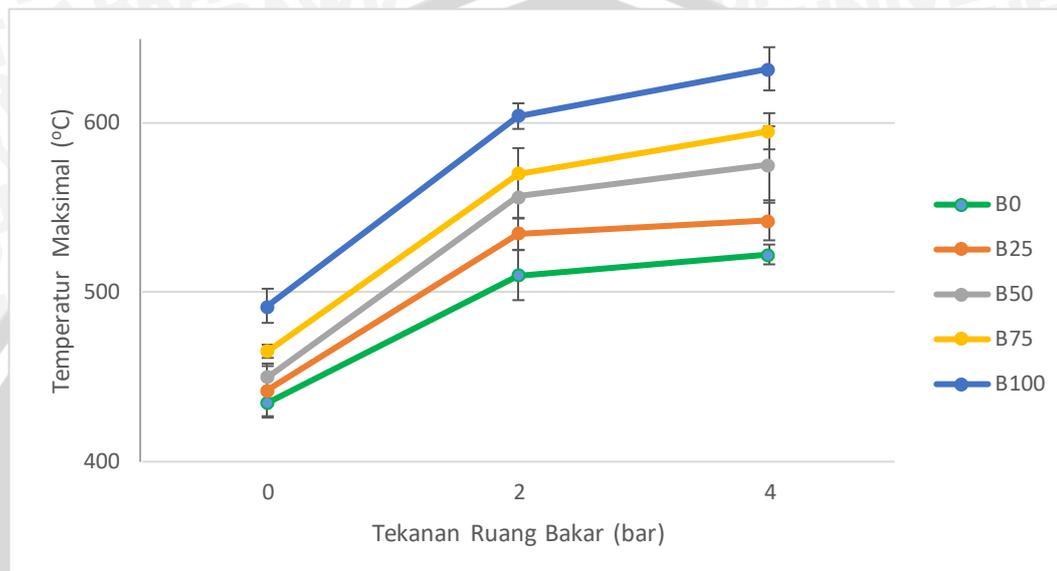


Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* solar.

Seangkan hubungan tekanan pada ruang bakar terhadap *ignition delay*. Pada B0, B25 dan B50 *ignition delay* mengalami penurunan seiring peningkatan tekanan ruang bakar. Hal ini dikarenakan seiring 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*.

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



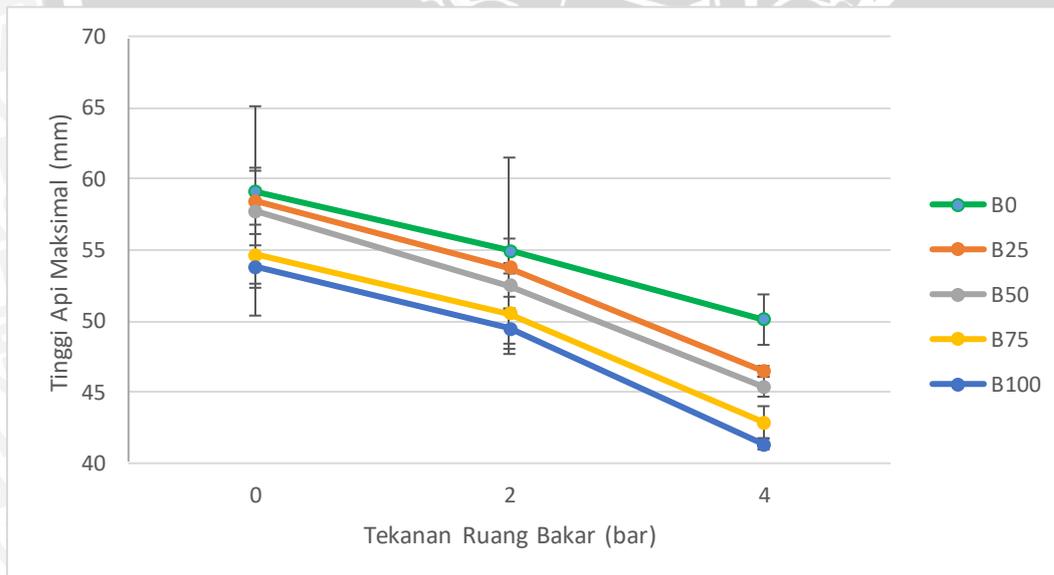
Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap temperatur maksimal pembakaran *droplet* solar.

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap temperatur maksimal selama proses pembakaran pada tekanan konstan. B100 pada 4 bar mempunyai nilai temperatur maksimal tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 631,9792 °C. Sedangkan B0 pada 0 bar mempunyai nilai temperatur maksimal terendah dibandingkan yang lain yaitu sebesar 434,7952 °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 CO₂ dan H₂O. 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 CO, CO₂ dan H₂O. CO₂ memiliki entalpi pembentukan sebesar -

393 kJ, sedangkan CO memiliki entalpi pembentukan lebih rendah yaitu sebesar -110 kJ (Rufiati, 2011). 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.

Peningkatan tekanan pada ruang bakar akan menaikkan temperatur pembakaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. 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 CO₂, sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan akan semakin meningkat.

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



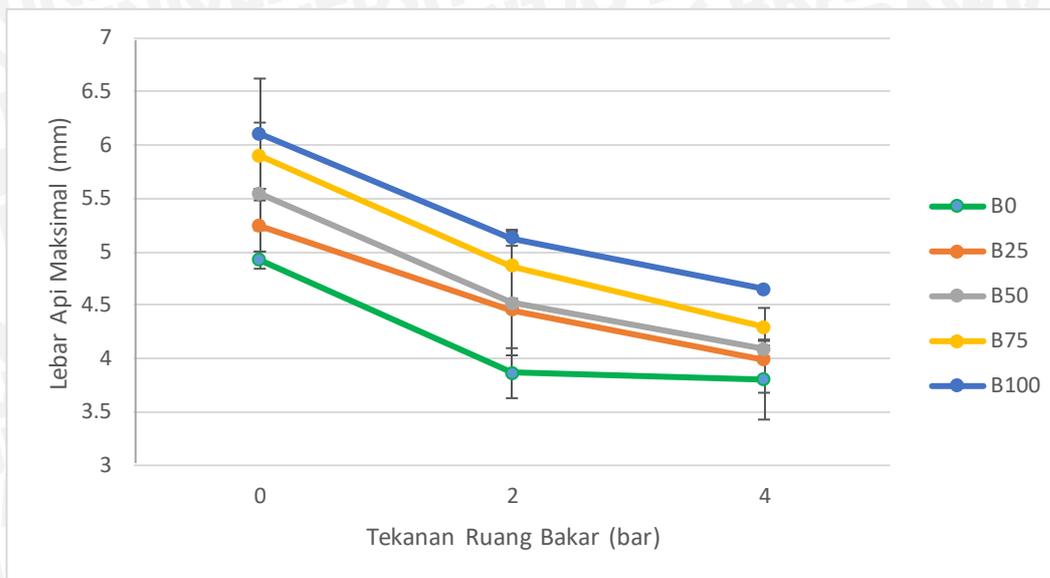
Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api pembakaran *droplet* solar.

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap tinggi api selama proses pembakaran pada tekanan konstan. Tinggi api yang diukur merupakan tinggi api maksimal selama proses pembakaran. B0 pada 0 bar mempunyai nilai tinggi api tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 59,0826 mm. Sedangkan B100 pada 4 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 Gambar 4.3. 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.

Sedangkan hubungan tekanan ruang bakar terhadap tinggi nyala api selama proses pembakaran. 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.

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

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan penambahan persentase biodiesel kemiri sunan pada solar terhadap lebar api selama proses pembakaran pada tekanan konstan. Lebar api yang diukur merupakan lebar api maksimal selama proses pembakaran. B100 pada 0 bar mempunyai nilai lebar api tertinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 6,1066 mm. Sedangkan B0 pada 4 bar 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.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh penambahan biodiesel kemiri sunan dan tekanan ruang bakar terhadap tinggi api pembakaran *droplet* solar.

Sedangkan hubungan tekanan ruang bakar terhadap lebar nyala api selama proses pembakaran. 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.