

Analisis Ukuran Droplet pada *Partially-Hydrogenated Biodiesel* Minyak Jelantah

I N. G. A. Valerie , I K. G. Wirawan, A. Ghurri

Program Sudi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Biodiesel berbahan baku minyak jelantah merupakan satu di antara energi alternatif yang menjanjikan untuk mengantisipasi masalah lingkungan dan keterbatasan bahan bakar fosil. Dalam upaya untuk meningkatkan stabilitas oksidasinya, dilakukan metode terkontrol berupa proses *partial hydrogenation*. Perubahan sifat fisik akibat proses *partial hydrogenation* akan berpengaruh terhadap kemampuan atomisasi bahan bakar tersebut. Pengujian ukuran droplet dilakukan dengan menggunakan bahan bakar solar (D100), *biodiesel* minyak jelantah murni (B100), campuran solar 90%–*biodiesel* 10% v/v (B10), campuran solar 80%–*biodiesel* 20% v/v (B20), campuran solar 70%–*biodiesel* 30% v/v (B30), *partially-hydrogenated* (PH) *biodiesel* minyak jelantah, campuran solar 90%–*biodiesel* PH 10% v/v (D90PH10), campuran solar 80%–*biodiesel* PH 20% v/v (D80PH20), dan campuran solar 70%–*biodiesel* PH 30% v/v (D70PH30) pada variasi tekanan injektor 2000 psi, 2500 psi, dan 3000 psi. Berdasarkan hasil penelitian ditunjukkan bahwa *biodiesel* PH memiliki rata-rata ukuran droplet yang lebih kecil dibandingkan *biodiesel* non-PH seiring dengan penambahan variasi tekanannya.

Kata kunci: *Biodiesel*, hidrogenasi parsial, ukuran droplet

Abstract

Waste cooking oil (WCO) biodiesel is a promising alternative energy to anticipate environmental problems and the limited availability of fossil fuels. In an effort to improve its oxidation stability, a controlled method called *partial hydrogenation* was carried out. Changes in physical properties due to the *partial hydrogenation* process will affect the atomization ability of the fuel. The droplet size measurements test was carried out using diesel fuel (D100), waste cooking oil *biodiesel* (B100), a mixture of diesel 90%–*biodiesel* 10% v/v (B10), a mixture of diesel 80%–*biodiesel* 20% v/v (B20), a mixture of diesel 70%–*biodiesel* 30% v/v (B30), *partially-hydrogenated* (PH) waste cooking oil *biodiesel*, a mixture of diesel 90%–*biodiesel* PH 10% v/v (D90PH10), a mixture of diesel 80%–*biodiesel* PH 20% v/v (D80PH20), and a mixture of diesel 70%–*biodiesel* PH 30% v/v (D70PH30) at various injector pressures of 2000 psi, 2500 psi, and 3000 psi. The test results show that PH *biodiesel* fuel has a smaller average droplet size than non-PH *biodiesel* along with the addition of pressure variations.

Keywords: *Biodiesel*, partial hydrogenation, droplet size

1. Pendahuluan

Energi mempunyai peranan penting pada pemenuhan kebutuhan industri dan rumah tangga. Energi fosil yang tidak terbarukan masih mendominasi pemanfaatan energi di Indonesia. Untuk mengantisipasi masalah lingkungan dan ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas, diperlukan diversifikasi energi pengganti yang ramah lingkungan serta dapat dihasilkan secara terus-menerus. *Biodiesel* menjadi pilihan yang menjanjikan karena bersifat nontoksik, dapat diperbarui (*renewable*), dapat terurai secara alami (*biodegradable*), dan bahan bakunya yang berlimpah [1].

Penggunaan bahan baku nonpangan seperti minyak jelantah yang lebih murah dan melimpah menjadi usaha untuk mengurangi biaya pembuatan *biodiesel*. Minyak jelantah adalah limbah hasil industri dan rumah tangga sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Saat limbah minyak mencapai sumber air, akan terbentuk lapisan pada permukaan air yang menghalangi pertukaran oksigen dan menyebabkan perubahan ekosistem [2]. Bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik dan akan berdampak buruk bagi

kesehatan apabila tetap digunakan [3]. Dengan demikian, pemanfaatan minyak jelantah akan memberikan keuntungan ekonomis serta membantu mengurangi masalah lingkungan dan kesehatan yang ditimbulkan.

Biodiesel minyak jelantah masih memiliki kekurangan karena lebih mudah mengalami biodegradasi oksidatif dibandingkan minyak solar. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan senyawa poli ester tak jenuh yang mengandung banyak ikatan rangkap sehingga rentan terhadap oksidasi [4]. Oleh karena itu, dilakukan *partial hydrogenation* yang dapat mengubah sebagian asam lemak takjenuh menjadi kandungan asam lemak jenuh dengan menambahkan hidrogen pada ikatan rangkap dari rantai atom karbon minyak atau asam lemak.

Bahan bakar dikatakan baik jika memiliki tingkat atomisasi yang baik, dilihat dari ukuran butiran (*droplet*) yang kecil dan halus. Perubahan sifat fisik pada bahan bakar akibat proses *partial hydrogenation* akan berpengaruh terhadap kemampuan atomisasi bahan bakar tersebut. Distribusi ukuran butiran ini dapat dipengaruhi oleh kondisi operasi mesin ataupun sifat fisik bahan bakar. Nilai viskositas dan tegangan permukaan yang tinggi akan meningkatkan gaya gesek antara bahan bakar

dan permukaan injektor yang akan dilalui oleh bahan bakar dan menghambat atomisasi [5]. Selain itu, tekanan injektor yang tepat dan fleksibel akan menghasilkan pencampuran bahan bakar-udara dan pembakaran yang lebih baik. Hal ini penting karena dapat terjadi ketidaksesuaian kebutuhan bahan bakar pada mesin jika tekanannya tetap sama.

Dalam hal ini maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari proses *partial hydrogenation* pada biodiesel minyak jelantah beserta variasi tekanan injektornya terhadap ukuran *droplet* yang dihasilkan. Adapun batasan yang ditetapkan, yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan biodiesel minyak jelantah yang telah diolah oleh Yayasan Lengis Hijau.
2. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan dan dijaga konstan.
3. Tekanan injektor memiliki toleransi tekanan ± 1 psi.

2. Dasar Teori

2.1 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar hayati (*biofuel*) yang bisa dihasilkan melalui proses reaksi esterifikasi dan/atau transesterifikasi dari minyak nabati atau lemak hewani. Penggunaan biodiesel bersifat ramah lingkungan karena bisa terurai secara alami (*biodegradable*) dengan bantuan mikroorganisme lain, tidak beracun (*nontoxic*), dan emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan minyak diesel/solar. Karena memiliki sifat fisis mendekati minyak diesel/solar, biodiesel berpotensi sebagai bahan bakar alternatif baik dalam kondisi murni maupun campuran sesuai tingkat konsentrasi tertentu.

2.2 Stabilitas Oksidasi

Ketahanan biodiesel untuk tidak mengalami degradasi akibat oksidasi (oksidasi oleh oksigen udara/atmosfir) dalam jangka waktu tertentu [6]. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang korosif dan padatan (polimer) yang dapat memengaruhi sifat biodiesel ataupun proses pembakaran dalam mesin. Karakteristik ini dipengaruhi oleh kandungan senyawa takjenuh pada metil ester (biodiesel). Rendahnya stabilitas oksidasi pada biodiesel disebabkan tingginya kandungan senyawa poliester takjenuh yang mengandung banyak ikatan rangkap.

2.3 Partial Hydrogenation

Proses dengan tujuan untuk menaikkan kestabilan oksidasi dan mengubah lemak cair menjadi padatan plastis. Variabel yang dapat memengaruhi hasil hidrogenasi adalah suhu, pengadukan, tekanan hidrogen dalam reaktor, jumlah katalis, jenis katalis, kemurnian gas hidrogen, sumber bahan baku, dan kualitas bahan baku [7]. Reaksi hidrogenasi akan mengubah asam lemak takjenuh menjadi asam lemak jenuh. Namun, sifat aliran

biodiesel pada suhu rendah dapat memburuk jika semua kandungan berubah menjadi asam lemak jenuh. Oleh karena itu, beberapa variabel proses hidrogenasi dikontrol agar hanya sebagian asam lemak takjenuh yang bereaksi yang disebut sebagai proses *partial hydrogenation*.

2.4 Distribusi Ukuran Droplet

Setiap semburan akan menghasilkan suatu rentang besar butiran yang dinyatakan dengan *droplet size distribution*. Semakin kecil butiran bahan bakar, semakin besar luas permukaan penyebarannya menyebabkan lebih mudahnya bahan bakar untuk menguap dan meningkatkan pencampuran bahan bakar-udara. Pembakaran yang efisien membutuhkan semburan dengan distribusi ukuran butiran yang optimal. Untuk berbagai kondisi operasi, butiran yang cukup besar akan menembus ke dalam ruang bakar, sedangkan butiran yang cukup kecil akan menguap (*pre-vaporize*) dalam waktu tinggal yang singkat di wilayah nyala. Selain dari kondisi mesin, sifat fisik bahan bakar juga memengaruhi distribusi ukuran butiran yang dihasilkan. Sifat fisik tersebut berupa viskositas, densitas, dan tegangan permukaan. *Water sensitive paper* (WSP) adalah perangkat pengambilan sampel tetesan semburan yang berguna asalkan keterbatasannya diperhitungkan [8].

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel

3.1.1 Variabel Bebas

- a. Variasi tekanan injektor 2000 psi, 2500 psi, dan 3000 psi.
- b. Variasi bahan bakar solar murni (D100), biodiesel minyak jelantah murni (B100), campuran solar 90% dengan biodiesel 10% (B10), campuran solar 80% dengan biodiesel 20% (B20), campuran solar 70% dengan biodiesel 30% (B30), *partially-hydrogenated* (PH) biodiesel minyak jelantah, campuran solar 90% dengan biodiesel PH 10% (D90PH10), campuran solar 80% dengan biodiesel PH 20% (D80PH20), campuran solar 70% dengan biodiesel PH 30% (D70PH30).

3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah ukuran *droplet* yang dihasilkan oleh keluaran nozel.

3.1.3 Variabel Kontrol

- a. Banyaknya penggunaan biodiesel pada proses *partial hydrogenation* adalah 350 gram.

- b. Banyaknya katalis yang digunakan pada proses *partial hydrogenation* adalah 5% w/w.
- c. Banyaknya pelarut yang digunakan pada proses *partial hydrogenation* adalah 180 gram.
- d. Suhu yang digunakan pada proses *partial hydrogenation* sebesar 80°C.
- e. Kecepatan pengadukan yang digunakan pada proses *partial hydrogenation* adalah 500 rpm.
- f. Waktu reaksi pada proses *partial hydrogenation* biodiesel minyak jelantah selama 90 menit.
- g. Suhu dalam melakukan pengujian adalah pada suhu ruangan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| – Gelas Kimia | – Botol Penyimpanan |
| – Timbangan Massa | – Alat Kompresi Injektor |
| – <i>Hot Plate Stirrer</i> | – Peralatan Perbengkelan |
| – <i>Magnetic Stir Bar</i> | – <i>Scanner</i> |
| – Termometer | – Komputer |
| – Saringan dan Corong | – Meja |

3.2.2 Bahan Penelitian

- Biodiesel
- Solar
- Akuades (H₂O)
- Isopropil Alkohol (C₃H₇OH)
- Aluminium Oksida (Al₂O₃)
- *Water Sensitive Paper* (WSP)

3.3 Prosedur Pengujian

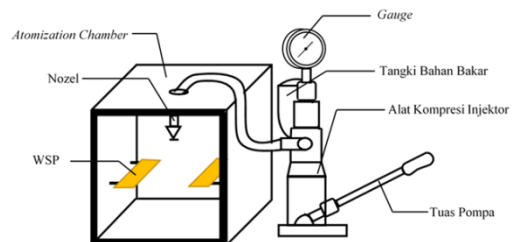
3.3.1 Proses *Partial Hydrogenation*

1. Pastikan peralatan dan bahan yang telah ditentukan untuk proses *partial hydrogenation* sudah siap
2. Mulai proses dengan penimbangan massa bahan, kemudian bahan dicampurkan ke dalam gelas kimia. Bahan tersebut adalah
 - a. biodiesel sebanyak 350 g,
 - b. isopropil alkohol sebanyak 180 g,
 - c. akuades sebanyak 180 g, dan
 - d. aluminium oksida sebanyak 5% w/w biodiesel yaitu sebanyak 17,5 g.
3. Letakkan gelas kimia yang sudah berisi campuran bahan di atas pelat pemanas pada *hot plate magnetic stirrer*. Atur parameter proses *partial hydrogenation* berupa
 - a. kecepatan pengadukan sebesar 500 rpm,
 - b. suhu pemanas sebesar 80°C, dan
 - c. waktu reaksi selama 90 menit.
4. Masukkan *magnetic stir bar* ke dalam gelas kimia yang berisi campuran bahan, kemudian mulai proses *partial hydrogenation*.

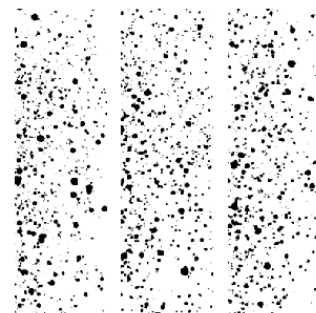
5. Pindahkan biodiesel yang telah melalui proses *partial hydrogenation* ke botol penyimpanan dengan menggunakan saringan dan corong.
6. Biodiesel yang telah mengalami perlakuan *partial hydrogenation* siap untuk diuji ukuran *droplet*-nya.

3.3.2 Proses Uji Ukuran *Droplet* yang Dihasilkan

1. Pastikan peralatan uji sudah siap dan instalasi pengujian seperti yang dapat dilihat pada gambar 1 telah dilakukan.
2. Masukkan biodiesel minyak jelantah yang telah melalui proses *partial hydrogenation* ke dalam tangki penampungan pada alat kompresi injektor.
3. Atur nozel agar dapat diinjeksi pada tekanan pertama sebesar 2000 psi.
4. Jalankan alat uji dengan menekan tuas pompa pada alat kompresi injektor sehingga menghasilkan semburan.
5. Ulangi langkah 2-4 saat melakukan penggantian WSP untuk menangkap *droplet*
6. Ulangi langkah 2-5 selama tiga pengujian untuk mendapatkan hasil yang mendekati aslinya.
7. Ulangi langkah 3-6 saat melakukan penggantian tekanan pada 2500 psi dan 3000 psi.
8. Ulangi langkah 2-7 saat melakukan penggantian bahan bakar yang digunakan.
9. WSP yang terkena semburan hasil pengujian dipindai menggunakan *scanner*. Gambar yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan aplikasi ImageJ.
10. Catat data yang telah didapatkan dari hasil pengujian.



Gambar 1. Skema Pengujian



Gambar 2. WSP Hasil *Threshold ImageJ*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Data yang dicari adalah ukuran *droplet* yang dihasilkan oleh keluaran nozel. Data tersebut didapatkan dengan memindai WSP ke bentuk berkas digital, kemudian dilakukan *image processing* menggunakan *software* ImageJ. Data hasil pengujian dari masing-masing jenis bahan bakar dengan variasi tekanan uji yang telah di-*threshold* dan dianalisis pada *software* ImageJ kemudian diplot ke dalam bentuk tabel.

4.1.1 Ukuran *Droplet* Solar Murni (D100)

Tabel 1. Ukuran *Droplet* D100

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	86	87	84
II	87	84	83
III	88	85	85
Rata-rata	87	85,3	84

4.1.2 Ukuran *Droplet* Biodiesel Murni (B100)

Tabel 2. Ukuran *Droplet* B100

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	95	93	91
II	92	91	90
III	92	93	92
Rata-rata	93	92,3	91

4.1.3 Ukuran *Droplet* B10

Tabel 3. Ukuran *Droplet* B10

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	91	92	87
II	89	88	88
III	89	86	88
Rata-rata	89,7	88,7	87,7

4.1.4 Ukuran *Droplet* B20

Tabel 4. Ukuran *Droplet* B20

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	90	88	88
II	89	92	87
III	92	89	89
Rata-rata	90,3	89,7	88

4.1.5 Ukuran *Droplet* B30

Tabel 5. Ukuran *Droplet* B30

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	93	93	88
II	90	90	91
III	90	89	90
Rata-rata	91	90,7	89,7

4.1.6 Ukuran *Droplet Partially-Hydrogenated Biodiesel* (PH)

Tabel 6. Ukuran *Droplet* PH

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	92	91	90
II	93	91	89
III	92	90	92
Rata-rata	92,3	90,7	90,3

4.1.7 Ukuran *Droplet* D90PH10

Tabel 7. Ukuran *Droplet* D90PH10

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	89	85	87
II	88	89	84
III	88	87	86
Rata-rata	88,3	87	85,7

4.1.8 Ukuran *Droplet* D80PH20

Tabel 8. Ukuran *Droplet* D80PH20

No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	88	86	87
II	88	90	87
III	90	88	89
Rata-rata	88,7	88	87,7

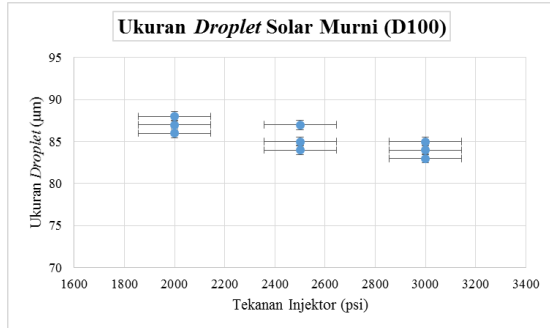
4.1.9 Ukuran *Droplet* D70PH30

Tabel 9. Ukuran *Droplet* D70PH30

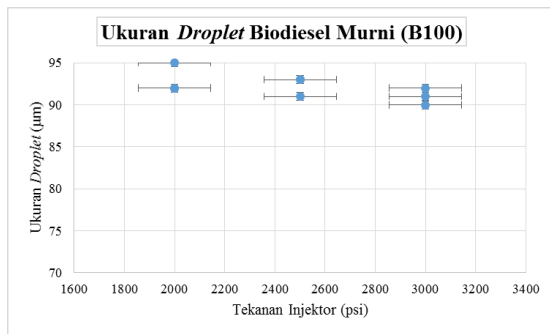
No.	Ukuran <i>Droplet</i> Rata-Rata (μm)		
	Tekanan 2000 psi	Tekanan 2500 psi	Tekanan 3000 psi
I	92	89	88
II	88	90	87
III	90	89	89
Rata-rata	90	89,3	88

4.2 Pembahasan Data

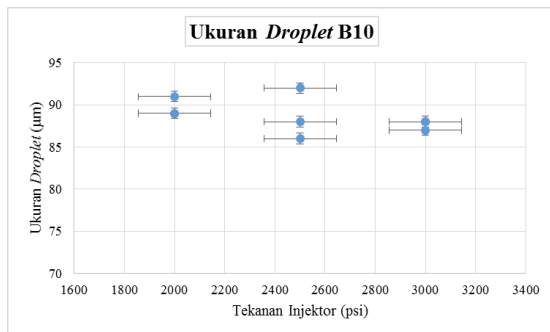
Dibuat grafik yang menggambarkan ukuran *droplet* dari bahan bakar D100, B100, B10, B20, B30, PH, D90PH10, D80PH20, dan D70PH30 pada setiap tekanan injeksi 2000 psi, 2500 psi, dan 3000 psi.



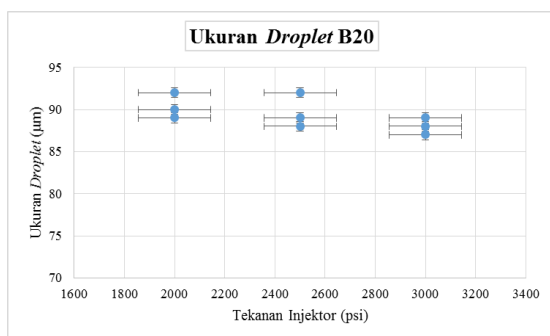
Gambar 3. Grafik Ukuran Droplet D100



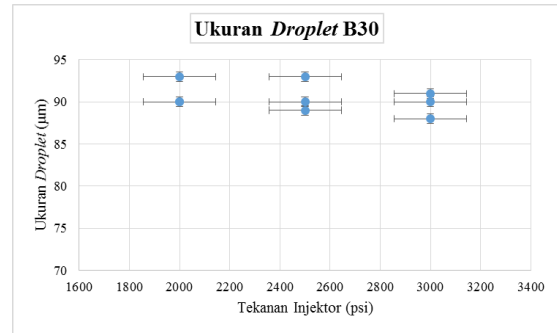
Gambar 4. Grafik Ukuran Droplet B100



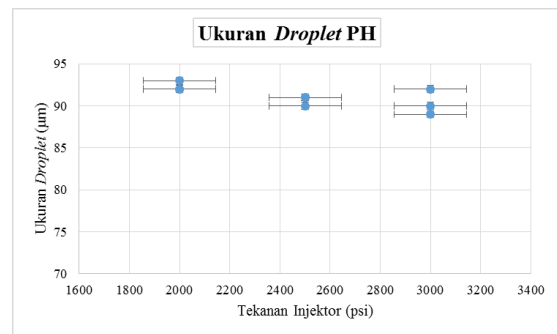
Gambar 5. Grafik Ukuran Droplet B10



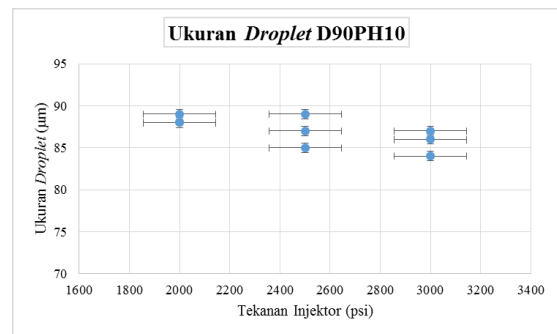
Gambar 6. Grafik Ukuran Droplet B20



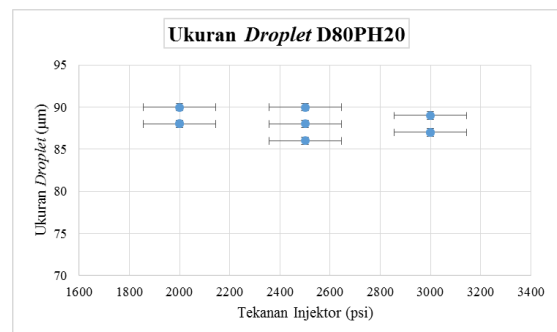
Gambar 7. Grafik Ukuran Droplet B30



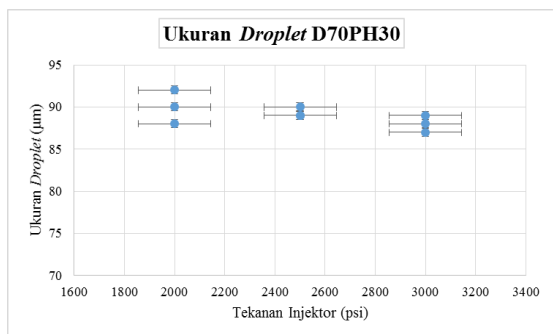
Gambar 8. Grafik Ukuran Droplet PH



Gambar 9. Grafik Ukuran Droplet D90PH10

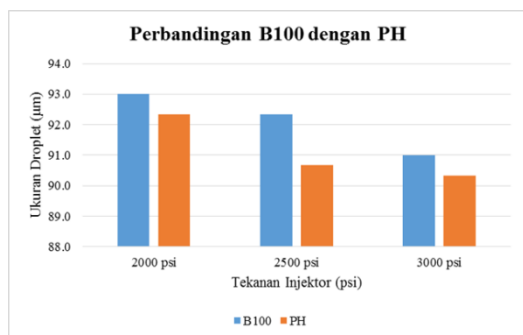


Gambar 10. Grafik Ukuran Droplet D80PH20



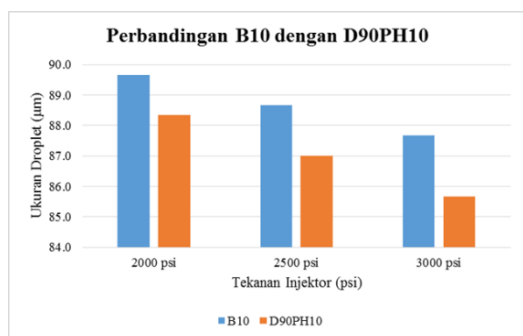
Gambar 11. Grafik Ukuran Droplet D70PH30

Terlihat bahwa terjadi penurunan ukuran *droplet* pada setiap variasi tekanan injeksi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya tekanan yang diberikan sehingga lebih mudahnya bahan bakar teratomisasi membentuk pecahan *droplet* yang lebih kecil. Selain itu, pecahan *droplet* juga dipengaruhi oleh nilai viskositas bahan bakar. Hasil rata-rata ukuran *droplet* dari bahan bakar yang diuji mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan nilai viskositas pada setiap variasi bahan bakarnya.

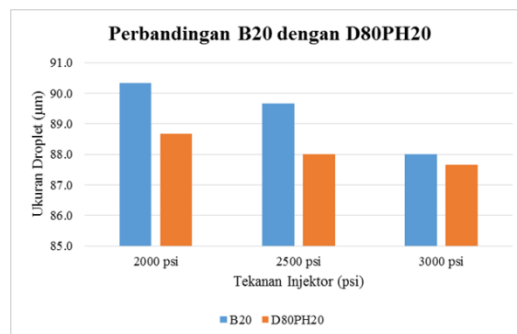


Gambar 12. Grafik Perbandingan B100 dan PH

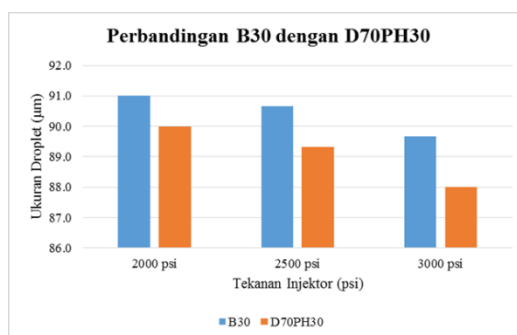
Pada bahan bakar 100% biodiesel tanpa proses *partial hydrogenation* (B100) diperoleh ukuran *droplet* terbesar di tekanan 2000 psi, kemudian mengalami penurunan ukuran *droplet* saat peningkatan tekanan ke 2500 psi dan 3000 psi. Jika dibandingkan, 100% biodiesel yang sudah melalui proses *partial hydrogenation* (PH) mendapati penurunan ukuran *droplet* secara garis lurus terhadap B100.



Gambar 13. Grafik Perbandingan B10 dan D90PH10



Gambar 14. Grafik Perbandingan B20 dan D80PH20

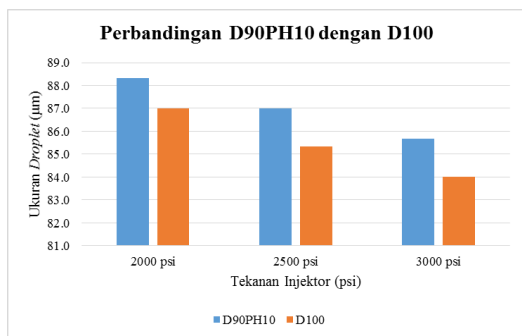


Gambar 15. Grafik Perbandingan B30 dan D70PH30

Campuran biodiesel yang telah melalui proses *partial hydrogenation* (D70PH30, D80PH20, D90PH10) jika dibandingkan dengan campuran biodiesel tanpa proses *partial hydrogenation* (B30, B20, B10) secara linear memperoleh ukuran *droplet* yang lebih rendah. Dapat dilihat juga bahwa campuran dengan kandungan biodiesel sebesar 10% (B10, D90PH10) memiliki ukuran *droplet* yang lebih kecil, kemudian meningkat seiring dengan penambahan kandungan biodiesel sebesar 20% (B20, D80PH20) dan 30% (B30, D70PH30). Hal ini dapat disebabkan apabila nilai viskositas semakin tinggi, bahan bakar lebih sulit teratomisasi saat keluar dari nozel. Pada masing-masing campuran biodiesel juga mengalami penurunan ukuran *droplet* saat diberikan peningkatan tekanan dari 2000 psi hingga 2500 psi dan 3000 psi. Hal ini dapat disebabkan oleh bahan bakar yang semakin terdesak untuk keluar dari nozel karena semakin tingginya tekanan yang diberikan sehingga terpecah menjadi *droplet* yang lebih kecil.

4.3 Perbandingan Dengan Solar Murni (D100)

Pada data hasil pengujian dapat dibandingkan bahwa penggunaan campuran bahan bakar B100, B10, B20, B30, PH, D80PH20, dan D70PH30 pada tekanan 3000 psi belum memiliki ukuran *droplet* yang mendekati bahan bakar solar (D100) pada tekanan terendah sekalipun (2000 psi).



Gambar 16. Grafik Perbandingan D90PH10 dan D100

Pada bahan bakar D90PH10 dengan tekanan 2000 psi belum didapatkan ukuran *droplet* yang mendekati bahan bakar solar, namun pada tekanan 2500 psi diperoleh ukuran *droplet* yang mendekati bahan bakar solar murni pada tekanan 2000 psi. Selain itu, bahan bakar D90PH10 pada tekanan 3000 psi memiliki ukuran *droplet* yang mendekati bahan bakar solar murni pada tekanan 2000–2500 psi. Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan D90PH10 dengan D100 pada gambar 16.

5. Kesimpulan

Dilihat dari hasil pengujian ukuran *droplet* pada *partially-hydrogenated* biodiesel minyak jelantah, dapat disimpulkan seperti berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, terlihat adanya pengaruh perlakuan proses *partial hydrogenation* pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah terhadap ukuran *droplet* yang diuji. Rata-rata ukuran *droplet* pada *partially-hydrogenated* biodiesel selalu lebih kecil jika dibandingkan dengan *non partially-hydrogenated* biodiesel.
2. Terdapat korelasi antara variasi tekanan dengan ukuran *droplet* pada penggunaan bahan bakar yang sama. Ditunjukkan dari hasil pengujian dengan tren penurunan ukuran *droplet* di setiap kenaikan variasi tekanan injeksinya.

Daftar Pustaka

- [1] Huang, D., Zhou, H., Lin, L. 2012., *Biodiesel: an Alternative to Conventional Fuel*. Energy Procedia, 16, pp. 1874-1885.
- [2] Carlos A. Guerrero F., Andrés Guerrero-Romero and Fabio E. Sierra (2011). *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies, Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.)*, ISBN: 978953-307-713-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/biodiesel-production-from-waste-cooking-oil>

- [3] Ningrum, N.P., Kusuma, M.A.I. 2013., *Pemanfaatan minyak goreng bekas dan abu kulit buah randu (Soda qie) sebagai bahan pembuatan sabun mandi organik berbasis teknologi ramah lingkungan*. Jurnal teknologi Kimia dan Industri, 2(2), pp. 275-285.
- [4] Effriandi, A. R., Zahra, S., Prianda, B. E. 2019., *Studi stabilitas warna biodiesel dan campuran biodiesel - minyak solar (B20) selama penyimpanan*. Jurnal Teknik Kimia., 25(3), pp. 60-69
- [5] Xie, H., Song, L., Xie, Y., Pi, D., Shao, C., Lin, Q. 2015., *An Experimental Study on the Macroscopic Spray Characteristics of Biodiesel and Diesel in a Constant Volume Chamber*. Energies, 8, pp. 5952-5972.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2015., *SNI 7182:2015, Biodiesel*. Jakarta.
- [7] O'Brien, R. D. 2009., *Fats and oils: formulating and processing for applications (3rd ed.)*. New York: CRC Press.
- [8] Sies, M. F., Madzlan, N. F., Asmuin, N., Sadikin, A., Zakaria, H. 2017., *Determine spray droplets on water sensitive paper (WSP) for low pressure deflector nozzle using image J*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 243 012047



I Nyoman Gede Adiguna Valerie menyelesaikan jenjang pendidikan menengah pada tahun 2017 di SMA Negeri 1 Denpasar, kemudian melanjutkan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dan menyelesaikannya pada tahun 2022.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi dan energi terbarukan seperti biodiesel.