

Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel

I Wayan Suma Wibawa^{1)*}, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma^{1,2)} dan I Nyoman Budiarsa^{1,2)}

¹⁾S2 Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: sumawibawa@yahoo.com

Abstrak

Di tengah nenipisnya ketersediaan bahan bakar fosil, membuat para peneliti dari berbagai negara sedang gencar mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui, salah satunya ialah biodiesel dari minyak nyamplung. Penggunaan biodiesel nyamplung pada mesin diesel masih mengalami kendala, karena viskositas dan densitas lebih tinggi daripada minyak solar hal tersebut mengakibatkan kinerja dari mesin diesel tidak optimal. Salah satu solusi mengatasi kendala tersebut diatas ialah dengan menambah tekanan pada injektor agar pengabutannya lebih halus, maka dilakukan pengujian pengaruh tekanan injektor/nosel terhadap karakteristik semprotan. Adapun variasi tekanan nosel 90 bar, 100 bar, 110 bar, 120 bar, dan 130 bar (range tekanan kerja nosel dari pabrik) dengan menggunakan solar (100%), biodiesel nyamplung 100% dan biodiesel nyamplung 5 % + solar 95%. Karakteristik semprotan bahan bakar yang di uji adalah panjang tip penetrasi semprotan (L), kecepatan semprotan (v atau Uin), Sudut semprotan (Θ), dan distribusi besar butiran yang terbentuk pada masing – masing variasi tekanan. Dari pengujian yang telah dilakukan maka di dapatkan sebagai berikut, pada tekanan nosel 120 bar BD 5% memiliki karakteristik yang paling mendekati D 100% (solar) baik dari kecepatan semprotan, sudut semprotan maupun jumlah butirannya.

Kata Kunci: Tekanan nosel, panjang semprotan, waktu semprotan, sudut semprotan, distribusi butiran.

Abstract

In the middle of the thinness of the availability of fossil fuels, making researchers from various countries are aggressively seeking alternative energy sources that can be renewed, one of which is biodiesel from callophyluminophylum. Callophyluminophylum use of biodiesel in diesel engines still experiencing problems, due to the viscosity and density higher than petroleum diesel it results in the performance of the diesel engine is not optimal. One solution to overcome the above problems is to put more pressure on the injector so that the spray is more subtle, then tested the effect of pressure injector / nozzle of the spray characteristics. The variations in the pressure nozzle 90 bar, 100 bar, 110 bar, 120 bar and 130 bar (range working pressure nozzle from the factory) using petroleum diesel (100%), callophyluminophylum biodiesel 100% and callophyluminophylum biodiesel 5% + petroleum diesel 95 %. Fuel spray characteristics test in the penetration of the spray tip length (L), spray rate (v or Uin), spray angle (Θ), and distribution of large granules are formed on each - each variation of pressure. From the testing that was done then get the following, at a pressure of 120 bar nozzle BD 5% has characteristics that most closely D 100% (petroleum diesel) both of the speed of the spray, spray angle and the amount of the grain.

Key words: Pressure nozzle, the length of the spray, spray time, spray angle, the distribution of grain.

1. PENDAHULUAN

Di tengah nenipisnya ketersediaan bahan bakar fosil, membuat para peneliti dari berbagai negara sedang gencar mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui, salah satunya ialah biodiesel dari minyak nyamplung [1]. Penggunaan biodiesel minyak nyamplung pada mesin diesel masih mengalami kendala, karena viskositas dan densitas lebih tinggi daripada minyak solar hal tersebut mengakibatkan kinerja dari mesin diesel tidak optimal [2]. Salah satu solusi mengatasi kendala tersebut diatas ialah dengan menambah tekanan pada injektor agar pengabutannya lebih halus, maka dilakukan pengujian pengaruh tekanan injektor/nosel terhadap karakteristik semprotan.

Mengacu pada permasalahan di atas, hipotesis yang disampaikan dalam penelitian ini adalah Dengan menaikkan tekanan nosel dapat menghasilkan karakteristik minyak nyamplung yang dapat menyerupai solar.

Pengujian karakteristik semprotan biodiesel minyak nyamplung dan perbandingan minyak solar dilakukan dengan berbagai variasi, mulai dari menggunakan minyak solar (100%), biodisel minyak nyamplung 100% dan biodisel minyak nyamplung 5 % + solar 95% yang akan diuji pada variasi tekanan nosel 90 bar, 100 bar, 110 bar, 120 bar, dan 130 bar (range tekanan kerja nosel dari pabrik [3]).

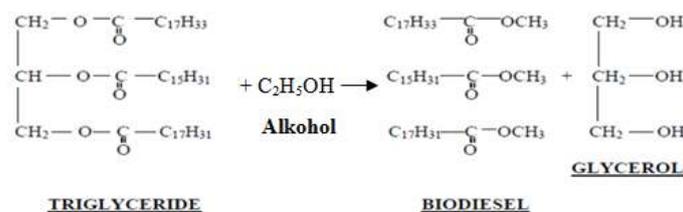
Data yang di dapat dari pengamatan kamera video pada penelitian adalah sebagai berikut, Panjang tip penetrasi semprotan (L), Kecepatan tip penetrasi (Uin), Sudut semprotan (Θ), Luas area semprotan (A), dan distribusi ukuran diameter dari butiran / droplet(D) yang terjadi pada semprotan minyak biodiesel. Untuk dapat menemukan nilai – nilai dari karakter semprotan tersebut di atas, data mentah tersebut kemudian di ubah dalam format (jpg).

2. TEORI

2.1. Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang diformulasikan khusus untuk mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati (bio-oil). Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak-minyak tumbuhan seperti minyak sawit (palm oil), minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk randu, minyak kemiri, minyak nyamplung dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan sumber energi bentuk cair ini [4] dan dalam penelitian ini bahan bakar nabati berasal dari minyak nyamplung.

Secara kimia, transesterifikasi berarti mengambil molekul asam lemak kompleks dari minyak nabati atau hewani, menetralkan asam lemak tak jenuh minyak nabati atau hewani dan menghasilkan alcohol-ester. Karena komposisi asam lemak tak jenuh pada minyak nyamplung sudah berkurang secara drastis, maka pembuatan biodiesel dengan bahan baku minyak nyamplung diperkirakan akan terjadi dengan lebih cepat. Prinsip proses transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini:



Gambar 1.1 : Proses Transesterifikasi Secara Kimia

2.2. Rapat Massa (Density)

Adalah perbandingan antara massa bahan bakar dengan volume bahan bakar [5]. Density bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur, maka density semakin turun dan sebaliknya.

2.3. Viskositas/kekentalan

Kekentalan suatu bahan bakar menunjukkan sifat menghambat terhadap aliran, dan menunjukkan sifat pelumasannya pada permukaan benda yang dilumasi. Kekentalan bisa didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menggerakkan suatu bidang dengan luas tertentu pada jarak tertentu dan dalam waktu yang tertentu pula. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap bentuk semprotan bahan bakar. Dimana untuk bahan bakar dengan viskositas yang terlalu tinggi akan memberikan atomisasi yang rendah sehingga mengakibatkan mesin sulit di start. Selain itu, gas buang yang dihasilkan juga akan menjadi hitam dengan smoke density yang cukup tinggi. Jika viskositas bahan bakar terlalu rendah maka akan terjadi kebocoran pada pompa bahan bakarnya dan mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar.

2.4. Titik Nyala (flash Point)

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar (biodiesel) akan terbakar dengan cepat (meledak). *Flash point* menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi *flash point*, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Makin mudah bahan bakar untuk terbakar maka *flash point-nya* menurun dan bahan bakar lebih efisien.

2.5. Specific Gravity

Berat bahan bakar atau *Specific Gravity* memegang peranan yang sangat penting dalam hal nilai kalor bahan bakar, *flash point*, dan sifat pelumasan pada mesin. Makin tinggi *Specific Gravity* berarti bahan bakar akan semakin berat, dan nilai kalor yang dihasilkan tiap volume akan semakin besar pula. *Specific Gravity* yang lebih tinggi juga menunjukkan sifat pelumasan yang lebih baik, tetapi *Specific Gravity* yang terlalu tinggi akan menyebabkan viskositas yang terlalu tinggi, dan *flash point* yang terlalu tinggi.

$$\text{Specific Gravity terhadap air} = \frac{\text{Density bahan bakar } \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \text{ atau } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\text{Density air } \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \text{ atau } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad (2.1)$$

2.6. Nilai Kalor

Nilai kalor dari bahan bakar diesel diukur dengan oksigen bomb kalorimeter. Untuk memperoleh perkiraan nilai kalornya, bisa dipakai rumus empiris di bawah ini:

$$\text{NK} = 18,650 + 40 (\text{API} - 10) \text{ BTU/lb} \quad (2.2)$$

$$\text{API} = \text{API Gravity pada } 60^\circ\text{F} = (141,5/\text{Specific Gravity}) - 131,5 \text{ 2.3}$$

Untuk menghitung *lower heating value* (LHV) dan *higher heating Value* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - \frac{9 \text{ H}_2\text{O}}{100 \text{ fuel}} h_{f\text{gs}} \quad (2.3)$$

2.7. Air fuel ratio AFR

Air fuel ratio adalah faktor yang mempengaruhi kesempurnaan proses pembakaran didalam ruang bakar. Merupakan komposisi campuran bahan bakar dan udara idealnya AFR bernilai 14,7 (1 bahan bakar : 14,7 udara) *stoichiometry*, Perbandingan ini dapat dibandingkan baik dalam jumlah massa ataupun dalam jumlah volume.

$$AFR = m : m_{air} = V_{fuel} : V_{air} \quad (2.4)$$

Besarnya AFR dapat diketahui dari uji coba reaksi pembakaran yang benar-benar terjadi, nilai ini disebut AFR aktual. Sedangkan AFR lainnya adalah AFR stoikiometri, merupakan AFR yang diperoleh dari persamaan reaksi pembakaran. Dari perbandingan nilai AFR tersebut dapat diketahui nilai Rasio Ekuivalen (ϕ) :

$$\phi = AF : AFR_{akt} \quad (2.5)$$

2.8. Injektor /Nozel

Injektor/nosel adalah alat untuk memisahkan fluida atau minyak menjadi tetesan kecil yang membutuhkan energi tertentu, energi yang diberikan melalui pompa yang memiliki tekanan tinggi. Dengan pompa bertekanan tinggi akan memecahkan minyak atau fluida dengan kecepatan tertentu, tekanan dan kecepatan yang diberikan mencapai 100 psi sehingga memaksa fluida atau minyak melalui lubang nosel.

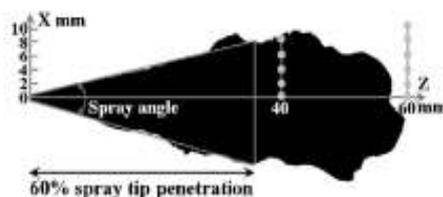
Untuk mengetahui model laju aliran massa, tekanan injeksi, tekana udara lingkungan, sifat fisik bahan bakar yang diuji, dapat di notasi dengan L/D geometri lubang Nozel. R/D Rasio Inlet. Parameter output koefisien debit aliran, kecepatan injeksi yang efektif, dan diameter efektif dapat digunakan persamaan sebagai berikut [6]:

$$U_{massa} = \frac{m_{inj}}{\rho_1 \cdot A_{hole}} \quad (2.6)$$

2.9. Pengabutan Gas

Untuk mesin diesel, penetrasi ujung semprot terlalu lama disebabkan oleh injeksi tekanan tinggi juga memiliki efek yang merugikan pada kontrol akurasi campuran dan kinerja emisi karena penguapan [7].

Berdasarkan pembahasan diatas sehingga untuk dapat mengetahui tingkat penyemprotan dengan tekana atomisasi, dan dapat diukur sudut kerucut berdasarkan jarak semprotan digunakan persamaan empirical dimana ($t \leq t_b$), jarak penetrasi L [8],



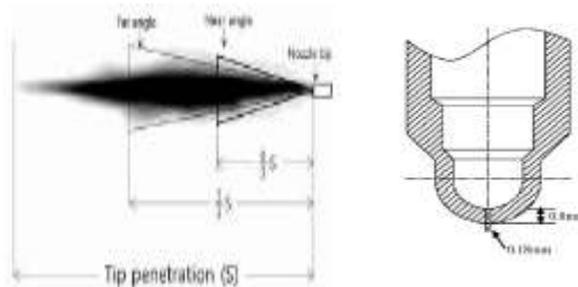
Gambar 2.1. Penyemprotan tip Penetrasi

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{t}{d_o} \right) \left(\frac{\Delta p}{\rho_l} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

Berdasarkan data diameter hasil semprotan, besarnya sudut semprotan dapat dihitung dengan menggunakan rumus [8] :

$$\theta = 0.05 \left(\frac{\Delta p \rho_a^2}{\rho_a \rho_a^2} \right)^{1/4} \quad (2.8)$$

Panjang semprotan penetrasi ditentukan dengan mencari arah axial semprotan yang terjauh dari nosel, sudut yang meliputi struktur semprotan dari nosel hingga 1/3 dari penetrasi. Garis linear digunakan untuk mengukur sudut yang dekat dan garis singgung kontur yang ada sampai ujung semprotan [9].



Gambar 2.2 Tip Penetrasi

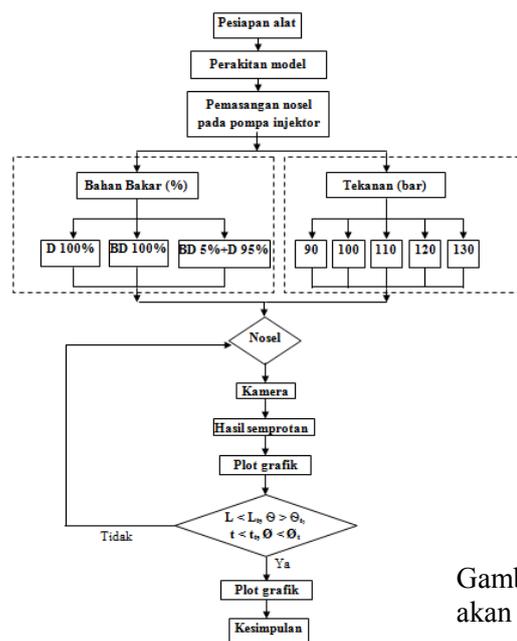
$$v \text{ atau } U_{\text{tip}} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{inj}}}{\rho_L}}; \rho_a = \frac{\rho_a}{\rho_L} \quad (2.9)$$

Sementara nilai diameter rata – rata dari semprotan yang terjadi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Sauter Mean Diameter* (SMD) berikut [10]:

$$SMD = 10^{-3} \left[\frac{\sqrt{(\sigma \rho_L)}}{\rho_a v_a} \right] \left(1 + \frac{1}{AFR} \right)^{0.5} + 6 \times 10^{-5} \left[\frac{\mu_L^2}{\sigma \rho_a} \right]^{0.425} \left(1 + \frac{1}{AFR} \right)^{0.5} \quad (2.10)$$

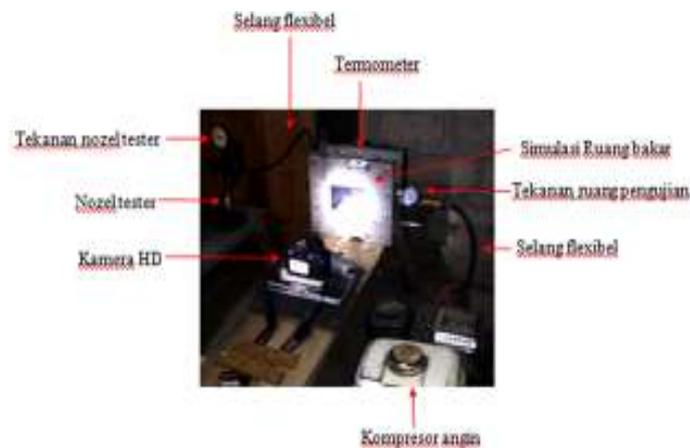
3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Pengujian



Gambar 3.1 diagram alir penelitian yang akan dilakukan

3.2. Proses Pengambilan Data



Gambar 3.2 Foto alat semprotan yang digunakan pada pengujian

Untuk mendapatkan semprotan yang diinginkan digunakanlah tester injeksi/nosel sebagai sumber tekanan, injektor atau nosel sebagai pengabut dan ruang pengujian berbentuk balok yang memiliki kondisi menyerupai ruang bakar sesungguhnya, kemudian bahan bakar yang masuk ke dalam simulasi ruang bakar di rekam dengan *high divination*(*HD*) kamera sehingga di dapatkan gambar sudut semprotan, ukuran butiran, dan panjang semprotan.

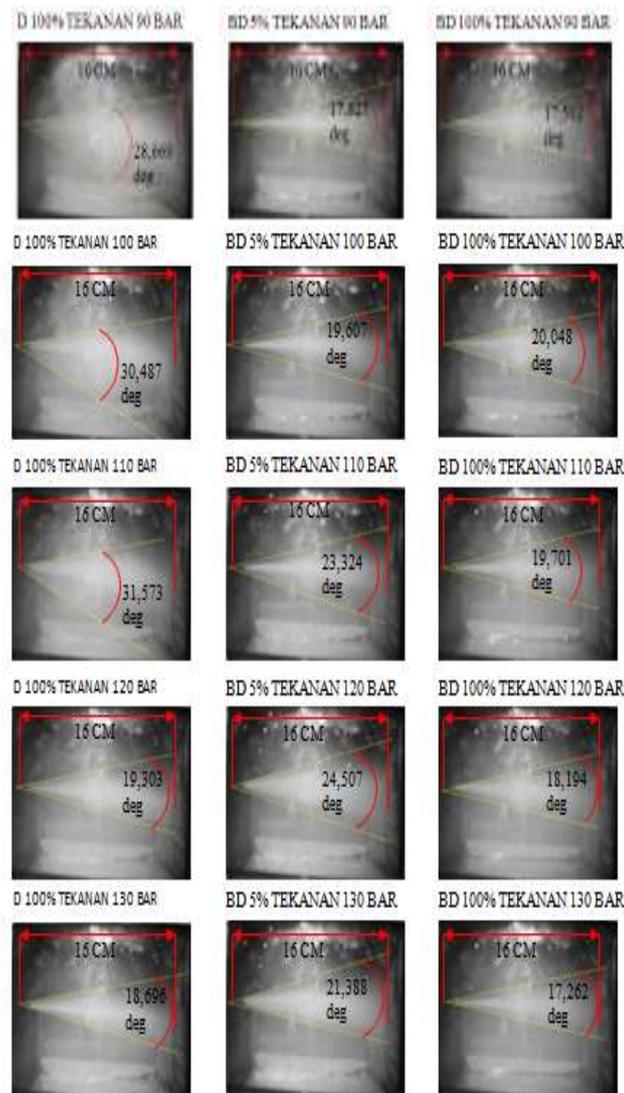
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang didapat dari pengamatan video kamera adalah sebagai berikut, Panjang tip penetrasi semprotan (L), Kecepatan tip penetrasi (U_{in}), Sudut semprotan (Θ), dan distribusi ukuran diameter dari butiran / droplet (D) yang terjadi pada semprotan minyak bahan bakar. Untuk dapat menemukan nilai dari karakter semprotan tersebut di atas, data mentah tersebut kemudian di ubah dalam format (jpg). Gambar 4.1 menunjukkan salah satu semprotan hasil pengujian yang telah di ubah formatnya menjadi format gambar (jpg).



Gambar 4.1 Pengolahan data awal semprotan dengan program image J

Pengolahan Data



Gambar 4.2 pengukuran sudut dan panjang tiap variasi pengujian

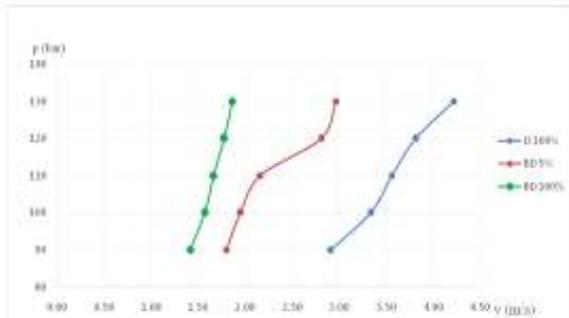
Panjang tip penetrasi semprotan (L) yang terbentuk pada tiap pengujian tersebut diatas menunjukkan panjang 160 mm (mengenai dindingruang uji) dan memiliki kecepatan yang bervariasi untuk terbentuknya tip penetrasi yang berbeda untuk tiap pengujianya. Dan berikut ini merupakan tabel lengkap dari hasil karakteristik semprotan yang terjadi pada tiap pengujian.

Tabel 4.1 Data sudut, kecepatan dan panjang semprotan untuk tiap variasi tekanan nosel (pada solar murni (D100%), biodisel murni (BD100%), dan campuran biodisel (BD5%+D95%)).

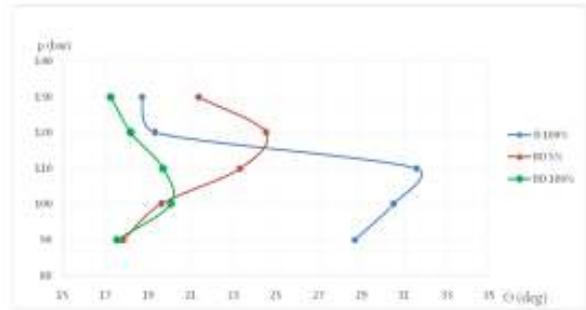
D 100%						BD 5%					
No	Tekanan p (Bar)	Sudut Θ (Deg)	Jarak L (10^{-3} m)	Waktu T (10^{-3} s)	Kecepatan V (m/s)	No	Tekanan p (Bar)	Sudut Θ (Deg)	Jarak L (10^{-3} m)	Waktu t (10^{-3} s)	Kecepatan V (m/s)
1	90	28.67	160	54.95	2.91	1	90	17.83	160	88.95	1.80
2	100	30.49	160	47.95	3.34	2	100	19.61	160	81.95	1.95
3	110	31.57	160	44.95	3.56	3	110	23.32	160	73.95	2.16
4	120	19.3	160	41.95	3.81	4	120	24.51	160	56.95	2.81
5	130	18.7	160	37.95	4.22	5	130	21.39	160	53.95	2.97

BD 100%

No	Tekanan P (Bar)	Sudut Θ (Deg)	Jarak L (10^{-3} m)	Waktu t (10^{-3} s)	Kecepatan V (m/s)
1	90	17.52	160	112.95	1.42
2	100	20.05	160	101.95	1.57
3	110	19.7	160	95.95	1.67
4	120	18.19	160	89.95	1.78
5	130	17.26	160	85.95	1.86



Gambar 4.3 grafik pengaruh variasi tekanan nosel terhadap kecepatan semprotan nosel



Gambar 4.4 grafik Pengaruh variasi tekanan nosel terhadap sudut semprotan nosel



Gambar 4.5 hasil olah data dengan menggunakan program Image J

Tabel 4.2 Data total distribusi butiran tiap minyak uji.

Biodisel5%							
No	Tekanan Nosel	Jumlah Butir (n)	D Min		D Max		Luas Total (μm^2)
	(Bar)		(μm)	%	(μm)	%	
1	90	3509	2.31	48.45	30.51	0.03	13972.01
2	100	3713	2.31	52.65	22.48	0.03	15347.55
3	110	3947	2.31	49.02	15.30	0.03	16362.12
4	120	4233	2.31	52.28	23.29	0.02	17154.09
5	130	3806	2.31	52.68	23.86	0.03	15786.12

Biodisel100%							
No	Tekanan Nosel	Jumlah Butir (n)	D Min		D Max		Luas Total (μm^2)
	(Bar)		(μm)	%	(μm)	%	
1	90	2685	2.31	48.49	19.02	0.04	10330.71
2	100	3162	2.31	50.03	17.41	0.03	11965.01
3	110	3122	2.31	50.77	19.16	0.03	13336.23
4	120	3056	2.31	51.47	19.44	0.03	11424.88
5	130	2822	2.31	49.01	16.63	0.07	10978.65

Disel100%							
No	Tekanan Nosel	Jumlah Butir (n)	D Min		D Max		Luas Total (μm^2)
	(Bar)		(μm)	%	(μm)	%	
1	90	3968	2.31	46.40	20.24	0.03	15463.58
2	100	4285	2.31	44.43	23.29	0.02	17089.23
3	110	4651	2.31	48.72	26.50	0.02	19041.12
4	120	3830	2.31	48.77	36.10	0.03	16365.67
5	130	3657	2.31	53.57	25.27	0.03	13525.47

Terlihat dari tabel tersebut bahwa semakin besar tekanan pada pada akan berdampak pada kenaikan kecepatan tip penetrasi, kecepatan tip penetrasi yang paling kecil terdapat pada minyak biodiesel murni BD 100% dengan tekanan nosel 90 bar dimana nilai kecepatan tip penetrasinya tersebut hanya sekitar 1,42 m/s jauh lebih kecil dari nilai kecepatan pada minyak solar murni (D 100%) dengan tekanan nosel 130 bar. Hal tersebut sangat di pengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dari minyak biodiesel yang lebih besar dari pada minyak solar murni sehingga untuk dapat tercapainya tip penetrasi tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama.

Secara teoritis panjang tip penetrasi ini juga dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan 2.7, dan didapat hasil seperti table di bawah ini :

$$L = 83,61 \times 0,0349 \left(\frac{1,2}{840} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{54,95}{0,2} \right) \left(\frac{0,9 \times 10^6}{840} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$L = 307 \text{ mm}$$

Tabel 4.3 Perbedaan panjang tip penetrasi hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis

D100%						BD5%					
No	Tekanan (bar)	Jarak Aktual (mm)	Waktu		Jarak Teoritis (mm)	No	Tekanan (bar)	Jarak Aktual (mm)	Waktu		Jarak Teoritis (mm)
			ms	s					ms	s	
1	90	160	54.95	0.05495	306.76	1	90	160	88.95	0.08895	490.71
2	100	160	47.95	0.04795	297.43	2	100	160	81.95	0.08195	502.33
3	110	160	44.95	0.04495	306.70	3	110	160	73.95	0.07395	498.62
4	120	160	41.95	0.04195	312.25	4	120	160	56.95	0.05695	418.90
5	130	160	37.95	0.03795	306.02	5	130	160	53.95	0.05395	429.91

BD100%					
No	Tekanan (bar)	Jarak Aktual (mm)	Waktu		Jarak Teoritis (mm)
			ms	s	
1	90	160	112.95	0.11295	503.53
2	100	160	101.95	0.10195	504.99
3	110	160	95.95	0.09595	522.80
4	120	160	89.95	0.08995	534.66
5	130	160	85.95	0.08595	553.46

Panjang tip penetrasi yang didapat melalui perhitungan memiliki perbedaan dengan panjang tip penetrasi yang di dapat dengan pengujian, hal tersebut dapat diakibatkan oleh keterbatasan pada penelitian ini baik dari sisi alat pengujian, software, maupun tingkat ketepatan skala pada pengolahan data pengujian yang dilakukan secara manual.

Untuk besarnya sudut semprotan secara teoritis, dapat menggunakan persamaan 2.8, sebagai berikut ini:

$$\theta = 0.05 \left(\frac{0,9 \times 10^7 \cdot 0.002^2}{840 \times 5,724 \times 10^{-6}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\theta = 16,35^{\circ}$$

Sedangkan nilai kecepatan (v atau Uin) semprotan dapat diperkirakan secara teoritis dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$U_{in} = 0,08 \sqrt{\frac{2 \times 0,9 \times 10^6}{840}}$$

$$U_{in} = 3,70 \text{ m/s}$$

Sementara nilai diameter rata – rata dari semprotan yang terjadi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Sauter Mean Diameter* (SMD) persamaan 2.10, sebagai berikut ini:

$$SMD = 10^{-3} \left[\frac{\sqrt{(0.068 \times 940)}}{1.2 \times 103.55} \right] \left(1 + \frac{1}{10} \right)^{0.5} + 6 \times 10^{-5} \left[\frac{(5.724 \times 10^{-6})^2}{0.068 \times 1.2} \right]^{0.425} \left(1 + \frac{1}{10} \right)^{0.5}$$

$$SMD = 67.48 \mu m$$

5. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada tekanan nosel 120 bar BD 5% memiliki karakteristik yang paling mendekati D 100% (solar) baik dari kecepatan semprotan, sudut semprotan maupun jumlah butirannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya Rudy, 2009, Kajian tentang tanaman nyamplung (*callophylum inophylum*) sebagai biodiesel. Seminar (Tugas Akhir) S1 Jurusan Teknik Kimia UNDIP;
- [2] Sudarmanta Bambang et. al., 2005, Transesterifikasi crude palm oil dan uji karakteristik semprotan menggunakan injektor motor diesel, ITS, Surabaya;
- [3] Anonim, 2005, *Astra International Isuzu*, Sistem bahan bakar isuzu panther 2.3: <http://www.astrainternational.com>;
- [4] Kusuma, I.G.B.W., 1995, Pengaruh putaran motor diesel dan beban terhadap konsentrasi gas buang CO. Fakultas Teknik Mesin Universitas Udayana, Denpasar;
- [5] Budiasa, I Nyoman, 2015, *Hardness prediction based on ph curves and immerse material parameters estimation, applied mechanics and materials, vol.776 P233 – 238*.
- [6] Park Su Han et. al, 2009, *Nozzle flow and atomization characteristics of ethanol blended biodiesel fuel. Journal homepage: Available online: www.elsevier.com/locate/renene*;
- [7] Dong, Quan et. al, 2012, *Spray characteristics of V-type intersecting hole nozzles for diesel engines. Journal homepage: Available online: www.elsevier.com/locate/fuel*;
- [8] Borman Gary L. et. al, 1998, *Combustion engineering international editions, Oxford, USA*;
- [9] Ghurri Ainul et. al, 2010, *Qualitative and quantitative analysis of spray characteristics of diesel and biodiesel blend on common-rail injection system. journal of mechanical science and technology available from: URL: <http://www.springerlink.com/content>*;
- [10] Viriato, S.¹, Pedro Andrade², Maria da Graca Carvalho³, 1996. *Spray Characterization: numerical prediction of Sauter mean diameter and droplet size distribution. Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnico de Lisboa, Portugal*