

Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel Pada Sistem Injeksi *Common-Rail*

Ainul Ghurri

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80362
a.ghurri@me.unud.ac.id

Abstrak

Faktor utama yang mempengaruhi pembakaran dalam mesin diesel adalah pembentukan campuran udara-bahan bakar. Pembentukan campuran tersebut dipengaruhi oleh karakteristik sistem injeksi, natur pusaran dan turbulensi udara di dalam silinder, dan karakteristik semprotan bahan bakar (*fuel spray characteristics*). Makalah ini mempresentasikan sebuah studi eksperimental yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik semprotan bahan bakar diesel murni (D100) dan campuran diesel-biodiesel dengan kandungan 65% volume biodiesel (BD65), yang diinjeksikan ke ruangan berkondisi atmosferik menggunakan sistem injeksi *common-rail*. Pengujian dilaksanakan dengan tekanan injeksi 30, 60 dan 90 MPa; dan durasi injeksi 1000 μ s. Saat bahan bakar diinjeksikan, dilakukan perekaman gambar *fuel spray* dengan menggunakan kamera video dengan kecepatan 4500 fps. Dari gambar semprotan bahan bakar yang diperoleh dilakukan pengukuran terhadap dua karakteristik utama *fuel spray* yaitu panjang penetrasi semprotan dan sudut semprotan. Hasil analisis data menunjukkan bahwa pada tekanan injeksi 30 MPa panjang penetrasi semprotan bahan bakar D100 dan BD65 mendekati sama dengan kecenderungan D100 sedikit lebih panjang dibanding BD65. Hal ini menunjukkan bahwa pada tekanan injeksi yang relatif rendah yang berarti juga energi untuk menyemprotkan bahan bakar rendah, BD65 memberikan resistensi yang lebih besar yang merupakan dampak dari viskositas yang lebih besar sehingga menghasilkan penetrasi yang lebih pendek dibanding D100. Pada tekanan injeksi 60 MPa, sampai 1.3 ms setelah permulaan injeksi, panjang penetrasi semprotan bahan bakar D100 lebih panjang daripada BD65, dan setelah 1.3 ms panjang penetrasi semprotan D100 menjadi lebih pendek daripada BD65. Pada tekanan 60 MPa ini, pada tahap awal injeksi efek viskositas BD65 yang lebih tinggi masih jelas terlihat dengan penetrasi semprotan yang lebih pendek dibanding D100; sedangkan dalam tahap akhir injeksi justru menghasilkan penetrasi yang lebih jauh dikarenakan bahan bakar BD65 yang sudah teratomisasi mempunyai momentum yang lebih besar sehingga dapat menghasilkan penetrasi yang lebih jauh. Selanjutnya, pada tekanan injeksi 90 MPa, panjang penetrasi BD65 lebih jauh dibanding D100 baik pada tahap awal maupun tahap akhir injeksi. Hasil-hasil tersebut menunjukkan peran viskositas biodiesel yang lebih tinggi. Pada tekanan injeksi yang lebih tinggi *fuel spray* memiliki energi kinetik yang lebih tinggi untuk menembus udara lingkungan; dan digabung dengan momentum yang lebih tinggi menghasilkan penetrasi yang lebih jauh. Dengan viskositas yang lebih tinggi, ukuran droplet akan menjadi lebih besar sehingga momentum juga menjadi lebih besar, dan akhirnya lebih mudah untuk menembus resistensi udara lingkungan. Pengukuran pada kecepatan ujung *spray* (*spray tip*) menunjukkan peningkatan pada tahap awal injeksi, dan setelah mencapai nilai maksimum kecepatan *spray tip*-nya menurun secara tidak teratur. Pada tekanan injeksi yang lebih tinggi, kecepatan *spray tip* maksimum terjadi lebih awal. Kecepatan *spray tip* BD65 sedikit lebih tinggi dibanding D100.

Keywords: biodiesel, karakteristik semprotan, common-rail

Pendahuluan

Biodiesel mendapat perhatian besar sebagai bahan bakar alternatif untuk mengurangi efek rumah kaca dan emisi gas buang. Perbedaan sifat fisik antara biodiesel dan bahan bakar diesel telah memicu banyak studi tentang karakteristik semprotan (*spray characteristics*) biodiesel. Grimaldi dan Postrioti [2000] yang merupakan salah satu peneliti awal tentang hal ini, membandingkan karakteristik panjang penetrasi dan sudut semprotan biodiesel yang dihasilkan oleh sistem *injeksi common rail*. Grimaldi dan Postrioti melaporkan bahwa secara umum

biodiesel menghasilkan penetrasi semprotan yang lebih panjang/jauh dan sudut semprotan yang lebih kecil dibanding bahan bakar diesel. Zhao et.al meneliti efek durasi injeksi dan melaporkan bahwa baik panjang penetrasi maupun sudut semprotan biodiesel lebih besar dibanding bahan bakar diesel [2009]. Lee et.al menemukan bahwa panjang penetrasi biodiesel hampir mirip dengan bahan bakar diesel [2001]. Su et.al menginvestigasi karakteristik biodiesel pada kondisi temperatur ambien yang bervariasi, dan menyimpulkan bahwa pola perubahan panjang penetrasi biodiesel hampir sama akibat perubahan temperatur tersebut [2008]. Hasil studi

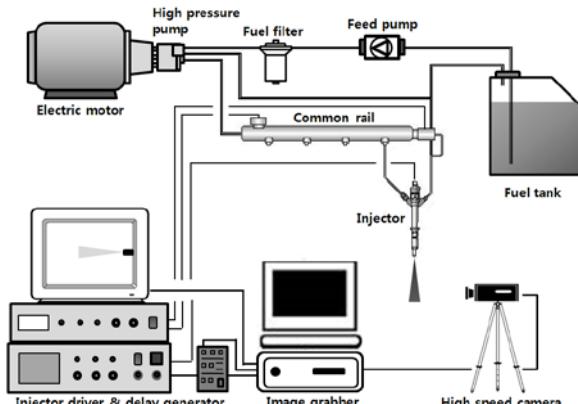
Yuan et.al [2005] menyimpulkan hal yang sama dengan yang disampaikan Grimaldi dan Postrioti [2000]. Makalah ini membahas karakteristik semprotan bahan bakar diesel dan biodiesel yang disemprotkan ke kondisi ruangan menggunakan sistem injeksi *common rail*.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Gambar 1 menunjukkan perlengkapan pengujian yang terdiri dari tangki bahan bakar, *feed pump*, filter bahan bakar, *high pressure pump* dengan penggerak motor DC, sistem injeksi *common rail*, dan perlengkapan *high speed video camera* untuk mengambil rangkaian gambar semprotan (*spray*) yang diinjeksikan.

Bahan bakar yang diuji adalah diesel murni (D100) dan campuran 65% biodiesel dengan 35% diesel (BD65). Sifat bahan bakar dan kondisi eksperimen dijelaskan dalam Tabel 1 dan 2.

Injektor yang digunakan dalam eksperimen memiliki 5 lubang dengan diameter 0.2 mm dan arah penyemprotan 156° terhadap posisi vertikal injektor. Rangkaian gambar semprotan diambil dengan kecepatan 4500 fps (*frame per second*) dengan menggunakan latar belakang hitam gelap. Eksperimen dilakukan dengan tekanan injeksi 30, 60 dan 90 MPa, dan durasi injeksi 1000 µs.



Gambar 1. Peralatan eksperimen

Tabel 1. Sifat bahan bakar

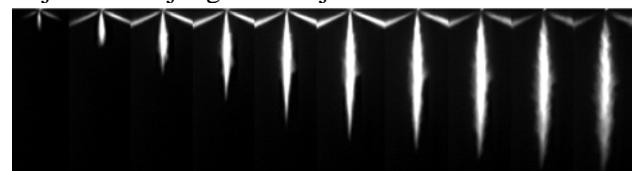
Fuel properties	Diesel (D100)	Biodiesel (BD65)
Density (kg/m³)	850	884
Viscosity (mm²/s)	3.25	4
Flash point (°C)	68	139
Pour point (°C)	-35 ÷ -15	0
Cetane number	54.6	54 ÷ 56

Tabel 2. Kondisi eksperimen

Injection system	Common-rail
Injector needle	5 side holes
Hole diameter	0.2 mm
Spray cone angle	156°
Injection duration	1000 µs
Injection pressure	30, 60, 90 MPa
Ambient gas	Atmospheric air, 283 K
High speed camera	FASTCAM Ultima40k
Frame rate	4500 fps
Resolution	256 x 256

Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan contoh rangkaian gambar semprotan D100 dan BD65 dengan tekanan injeksi 90 MPa pada 2.5 ms setelah permulaan injeksi (*after start of injection, ASOI*). Panjang penetrasi dan sudut semprotan didefinisikan seperti dalam Gambar 3. Panjang penetrasi diukur dari ujung nosel sampai ujung semprotan yang merupakan *pixel* semprotan terjauh dari ujung nosel/injektor.

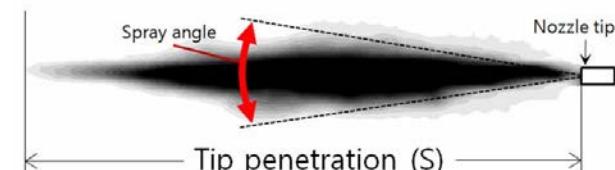


(a) D100



(b) BD65

Gambar 2. Rangkaian semprotan 2.5 ms ASOI, 90 MPa, durasi injeksi 1000 µs



Gambar 3. Karakteristik semprotan

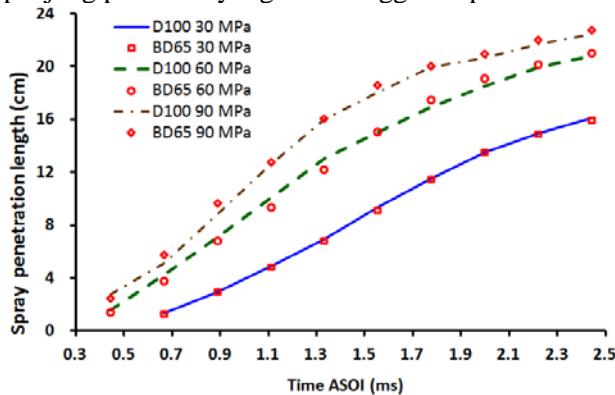
Panjang semprotan

Gambar 4 menampilkan perbandingan panjang penetrasi semprotan antara D100 dan BD65 pada tekanan injeksi 30, 60 dan 90 MPa. Dari gambar tersebut dapat dikatakan panjang penetrasi kedua bahan bakar terlihat hampir sama. Namun pengamatan data lebih detail menunjukkan hal yang menarik. Dengan menggunakan kamera berkecepatan 4500 fps, gambar pertama tertangkap pada 0.67 ms ASOI untuk tekanan injeksi 30 MPa; dan 0.44 ms untuk 60 dan 90 MPa. Semua gambar pertama menunjukkan panjang penetrasi D100 lebih panjang dari BD65. Dengan melakukan proses pengecekan silang menggunakan persamaan (1), diketahui bahwa BD65 memiliki *break-up time* lebih tinggi dibanding D100, sehingga dapat disimpulkan bahwa droplet BD65 terinjeksi keluar dari nosel lebih lambat dibanding D100. Hal ini diduga dikarenakan densitas dan viskositas BD65 yang lebih tinggi. Viskositas yang lebih tinggi menghambat semprotan untuk segera pecah dan teratomisasi.

$$t_b = 28.65 \rho_L d_o (\rho_a \Delta P_{inj})^{-0.5} \quad (1)$$

Gambar 4 juga menjelaskan pengaruh tekanan injeksi terhadap panjang penetrasi. Pada tekanan injeksi 30

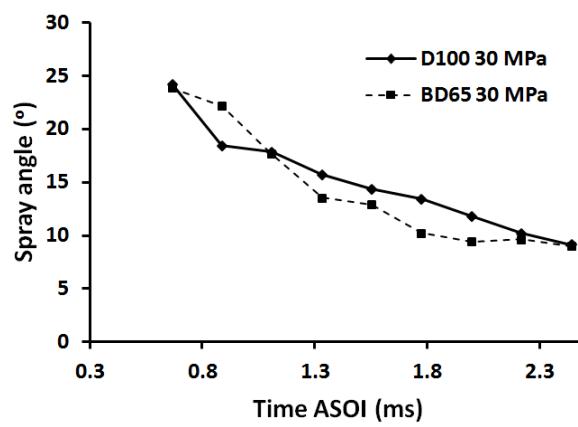
MPa data panjang penetrasi D100 sebagian besar lebih tinggi dibanding BD65. Pada tekanan injeksi 30 MPa, energi yang disuplai dalam injeksi belum cukup besar untuk menunjukkan/menghasilkan perbedaan antara D100 dan BD65. Pada tekanan injeksi 60 MPa, sampai 1.3 ms ASOI panjang penetrasi D100 lebih besar dan setelahnya menjadi lebih rendah dibanding BD65. Pada tekanan injeksi 90 MPa, panjang penetrasi BD65 lebih besar daripada D100 kecuali gambar yang pertama. Hal ini menunjukkan dengan jelas peran viskositas biodiesel yang lebih tinggi daripada D100. Pada tekanan injeksi yang lebih tinggi, tersedia energi yang lebih tinggi bagi bahan bakar untuk menembus udara sekitar. Dan viskositas yang lebih tinggi menghasilkan ukuran droplet yang lebih besar sehingga momentumnya juga lebih besar. Sebagai hasilnya, BD65 dapat menyembur dengan panjang penetrasi yang lebih tinggi daripada D100.



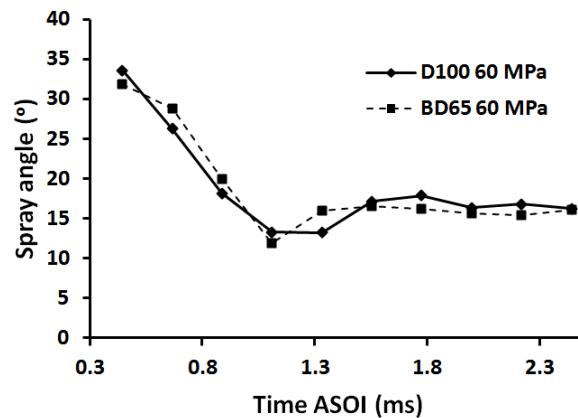
Gambar 4. Panjang penetrasi D100 vs BD65

Sudut semprotan

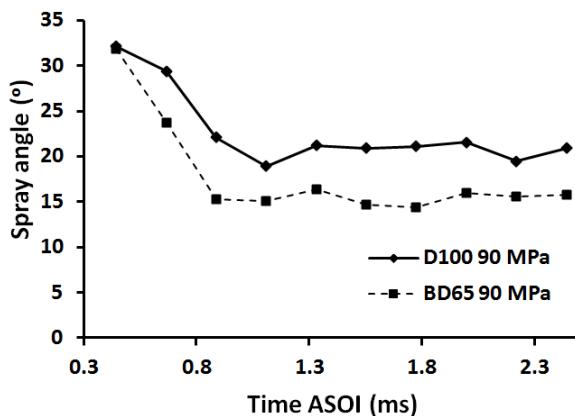
Gambar 5 menunjukkan hasil eksperimen untuk sudut semprotan secara berturut-turut pada tekanan injeksi 30, 60, dan 90 MPa. Sudut semprotan secara umum menurun sejalan dengan waktu setelah diinjeksikan dengan sedikit fluktuasi di bagian akhir untuk tekanan injeksi 60 dan 90 MPa, dan menurun secara konstan pada tekanan injeksi 30 MPa. Pada tekanan injeksi 90 MPa, dengan sangat jelas terlihat sudut semprotan BD65 lebih kecil dibanding D100. Hal ini sejalan dengan hasil panjang penetrasi, yaitu akibat momentum yang lebih besar yang dimiliki biodiesel. Sedangkan semprotan D100 memiliki momentum yang lebih kecil untuk melawan resistensi udara ambien sehingga menghasilkan sudut semprotan yang lebih besar. Pada tekanan injeksi 60 dan 90 MPa, penurunan sudut semprotan terjadi sampai sekitar 1 ms ASOI dan setelahnya sudut semprotan cenderung konstan.



(a) Tekanan injeksi 30 MPa



(b) Tekanan injeksi 60 MPa

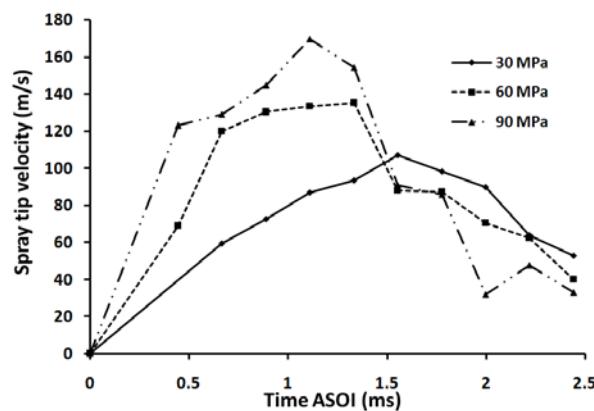


(c) Tekanan injeksi 90 MPa

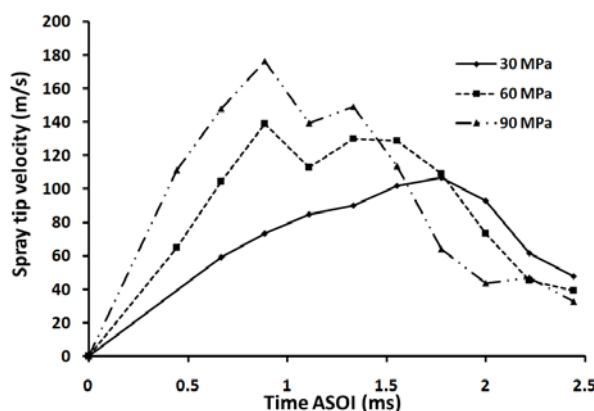
Gambar 5. Sudut semprotan D100 dan BD65

Kecepatan ujung semprotan

Kecepatan ujung semprotan (*spray tip velocity*) ditunjukkan dalam Gambar 6. Kecepatan ujung semprotan meningkat pada awal injeksi, dan setelah mencapai kecepatan maksimum menurun secara fluktuatif, diduga dikarenakan fluktuasi tekanan dalam jalur pipa bahan bakar. Pada tekanan injeksi yang lebih besar, kecepatan maksimum terjadi pada waktu yang lebih awal dan menurun lebih cepat. Dari Kecepatan maksimum BD65 sedikit lebih tinggi daripada D100. Hasil ini konsisten dengan hasil panjang penetrasi semprotan.



(a) D100



(b) BD65

Gambar 6. Kecepatan ujung semprotan

Kesimpulan

Studi eksperimen karakteristik semprotan bahan bakar biodiesel telah dilakukan menggunakan sistem injeksi *common rail*. Pengujian dilakukan menggunakan bahan bakar D100 dan BD65 yang diinjeksikan ke udara dengan kondisi atmosferik dengan tekanan injeksi 30, 60, dan 90 MPa. Dengan menganalisis rangkaian gambar semprotan yang diambil dengan kamera berkecepatan 4500 fps, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Viskositas dan densitas biodiesel yang lebih tinggi menghasilkan panjang penetrasi semprotan yang lebih besar, dan sudut semprotan yang lebih kecil dibandingkan bahan bakar diesel.
- Viskositas/densitas besar menjadikan bahan bakar memiliki ukuran droplet yang lebih besar sehingga memiliki momentum yang besar untuk menembus hambatan dari lingkungan tempat bahan bakar diinjeksikan.
- Kecepatan ujung semprotan bahan bakar biodiesel lebih tinggi dibanding diesel murni.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dirjen Dikti, Kementerian Pendidikan RI atas dukungan finansial, dan kepada Prof. Song Kyu-Keun dari Chonbuk National University, Korea Selatan, atas supervisinya dalam penelitian ini.

Nomenklatur

d_o	Diameter nosel/injektor (mm)
t_b	Break-up time (ms)
ΔP_{inj}	Tekanan injeksi (MPa)
ρ_L	Densitas bahan bakar cair (kg/m^3)
ρ_a	Densitas udara atmosferik (kg/m^3)

Referensi

- C. Grimaldi and L. Postrioti, *Experimental Comparison between Conventional and Bio-derived Fuels Sprays from a Common Rail Injection System*, SAE TECHNICAL-PAPER SERIES (2000).
- Zhao XW, Han XK, He C, Tan JW, *Experimental study on spray characteristics of biodiesel oil*, C. Intern Combustion Engine Eng, 1:16-19 (2008).
- Lee CS, Park SW, Kwon SI, *An experimental study on atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels*, Energy Fuels , 19: 2201-8 (2005).
- Su HP, Hyung JK, Hyun KS, Chang SL, *Experimental and numerical analysis of spray-atomization characteristics of biodiesel fuel in various fuel and ambient temperatures conditions*, International journal of heat and fluid flow, 30: 960-970 (2009).
- Yuan G, Jun D, Chunwang L, Fengling D, ZHuo L, Zhijun W, Ligang L, *Experimental study of the spray characteristics of biodiesel based on inedible oil*, Biotechnology Advance, 27: 616-624 (2009).
- E. Delacourt, B. Desmet, B. Besson, *Characterization of very high pressure diesel sprays using digital imaging techniques*, Fuel 84, 859-867 (2005).
- J Shao, Y Yan, GGreeves, and S Smith, *Quantitative characterization of diesel sprays using digital imaging techniques*, Meas. Sci. Technol. 14, 1110-1116 (2003).
- Anders Larsson, *Optical studies in a DI diesel engine*, SAE Technical paper 1999-01-3650 (1999).
- R. Morgan, J. Wray, *The influence of injector parameter on the formation and break-up of diesel spray*, SAE Tech. Paper (2001)
- K.P. Sudheer, R.K. Panda, *Digital image processing for determining drop size from irrigation spray nozzles*, Agricultural Water Management, 45 159-167 (2000).