

UJI KARAKTERISTIK PENYEMPROTAN BAHAN BAKAR BIODIESEL PADA NOZEL MESIN DIESEL DENGAN SISTEM INJEKSI LANGSUNG

Agapito Pinto¹⁾, I G B Wijaya Kusuma²⁾, I W Bandem Adnyana³⁾

^{1), 2), 3)} Program Magister Teknik Mesin, Universitas Udayana, Jl. PB Sudirman – Denpasar Bali
Email: agapito.uato@gmail.com

Abstrak: Minyak nyamplung merupakan salah satu jenis minyak nabati yang dihasilkan dari biji tanaman nyamplung yang banyak tumbuh di daerah pantai, minyak yang dihasilkan dari biji nyamplung ini berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar solar pada mesin diesel. Untuk itu sebagai langkah awal, studi eksperimental telah dilakukan untuk menguji karakteristik semprotan minyak (*spray*) biodiesel melalui mekanisme menyerupai nosel injektor mesin diesel. Minyak biodiesel dari biji nyamplung yang diuji ini dicampur dengan minyak solar dengan berbagai variasi, yakni 5%, 15%, 20%, 100% biodiesel, dan 100% minyak diesel. Karakteristik semprotan yang diuji dalam penelitian ini meliputi data panjang tip penetrasi semprotan (L), sudut semprotan (θ), kecepatan semprotan (U_{in}), dan distribusi ukuran butiran yang dibentuk pada masing - masing campuran biodiesel tersebut.. Dari pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa peningkatan campuran bahan bakar biodiesel akan menghasilkan sudut semprotan (θ) yang lebih besar tapi panjang tip penetrasi semprotan (L) semakin kecil. Begitu juga kecepatan terbentuknya semprotan cenderung melambat seiring dengan bertambahnya persentase biodiesel pada campuran minyak solar tersebut.

Kata kunci: Biodiesel, Panjang tip penetrasi semprotan, Sudut semprotan, Kecepatan semprotan, Distribusi butiran

Characteristics Test Of Biodiesel Fuel Spraying On Nozzle Diesel Engine With Direct Injection System

Abstract: Nyimplung oil is one of types of vegetable oil produced from seeds of nyamplung plant that grows in coastal areas. The oil produced from seeds of nyamplung has a potential to be used to substitute diesel fuel. The first step of experimental study had been conducted to examine the characteristic of the oil spray of the biodiesel through a mechanism resembling a diesel engine indicator nozzle. Biodiesel oil from the seed of nyamplung is mixed with diesel oil with various variations, such as 5%, 10%, 15%, 20%, 100% biodiesel and 100% diesel oil. The spray characteristic tested in this study includes length of spray penetration tip (L), spray angle (θ), spray velocity (U_{in}), and the grain size distribution formed in each of the diesel blending. From the testing it was found that an increase in biodiesel fuel mixture would produce greater spray angle (θ) but the length spray of penetration tip (L) get smaller. In addition, the spray velocity tended to slow since increase of biodiesel percentage in the diesel mixture.

Keywords: Biodiesel, Length spray tip penetration, Spray angle, Spray velocity, Grain distribution.

1. PENDAHULUAN

Sumber energi utama yang digunakan di berbagai negara masih tergantung pada bahan bakar minyak fosil (*konvensional*) khususnya pada transportasi dan generator pembangkit listrik. Karena semakin banyak eksploitasi yang dilakukan, maka keberadaan minyak bumi semakin terancam dan harganya menjadi meningkat secara tajam, mengingat ketersediaan akan minyak fosil ini lambat laun pasti akan habis dan tidak dapat diperbaharui lagi.

Untuk dapat mengatasi kelangkaan bahan bakar fosil tersebut, maka para ahli ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) melakukan berbagai upaya untuk mencari solusi dalam hal mengupayakan penggunaan sumber bahan bakar alternative seperti minyak nabati (*vegetable oil*) sebagai salah satu sumber bahan bakar alternatif yang diperoleh dari tanaman / nabati yang dapat digunakan sebagai bahan bakar biodiesel. Salah satu tanaman untuk bahan dasar biodiesel adalah tanaman nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*).



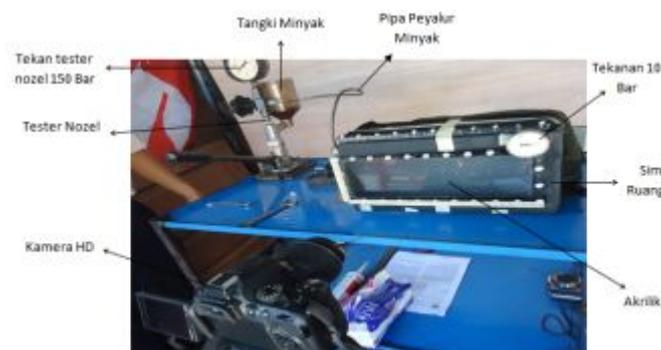
Gambar 1. Biji dan minyak nyamplung

Minyak nyamplung adalah salah satu jenis minyak nabati yang bisa digunakan sebagai pengganti minyak fosil (*solar*) pada mesin diesel (Kusuma, 2003). Mengingat pasokan minyak fosil semakin menipis, maka minyak nyamplung menjadi sangat berpotensi sebagai alternatif pemecahan masalah kelangkaan minyak fosil tersebut. Minyak nyamplung memiliki kadar minyak mencapai 40 –

73 %. Biji nyamplung mengandung takamaha, resin, minyak atsiri, *kalofiloid*, asam, *kalofilat*, *sitosterol*, lendir, *gliserin*, minyak lemak, *tanin*, *takaferol*, dan karotenoid. Minyak nyamplung mengandung aneka zat seperti takamahin, asam takawahol, gumi, resin dan minyak herbal. Dengan adanya perbedaan parameter fisik antara biodiesel minyak nyamplung (*Callophylum Inophylum*) dengan minyak solar, penting melakukan untuk studi tentang karakteristik penyemprotan biodiesel minyak nyamplung dalam hubungan dengan penerapannya di mesin pembakaran dalam (Gao *et al*, 2005), menyatakan bahwa karakteristik biodiesel yang diuji meliputi L, θ, U_{in} dan SMD .

2. METODE PENELITIAN

Uji eksperimen pada penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu membuat simulasi alat semprot minyak yang menyerupai sistem semprotan pada mesin – mesin diesel. Simulasi alat semprot yang dibuat ini terdiri dari komponen – komponen berupa kotak besi ber dinding akrilik yang dilengkapi dengan nosel injektor pada bagian atasnya. Bagian dalam kotak nosel dijaga tekanannya sebesar 10 bar konstan. Bahan bakar minyak disemprotkan pada kotak besi tersebut melalui nosel injektor dan diinjeksikan dengan pompa hidraulik (*injektor nosel tester*) dengan tekanan tinggi sekitar 150 bar (15 MPa). Pada bagian dinding kotak akrilik tersebut dipasang kamera yang berfungsi untuk merekam proses penyemprotan bahan bakar minyak tersebut. Kamera high definition (HD) digunakan pada pengujian ini agar data yang diperoleh memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Adapun skema lengkap dari simulasi alat semprot bahan bakar minyak ini seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Skema simulasi alat pengujian

Pengujian alat simulasi penyemprotan ini menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu minyak biodiesel biji nyamplung dan minyak solar. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan campuran dari kedua bahan bakar minyak tersebut. Dimulai dari campuran minyak nyamplung dengan jumlah 5% dan solar 95% (disebut campuran **5% BD**), 10% minyak nyamplung 90% solar (**10% BD**), 15% minyak nyamplung 85% solar (**15% BD**), 20% minyak nyamplung 80% solar (**20% BD**), dan pengujian 100% minyak nyamplung (**100% BD**) serta pengujian terhadap solar murni (**100% D**) sebagai pembanding. Variabel tetap yang diterapkan pada pengujian ini adalah berupa tekanan

injektor dari tester injector (P_{inj}) yang konstan pada nilai 150 bar dan tekanan ruang simulasi (P_{amb}) juga konstan pada nilai 10 bar.

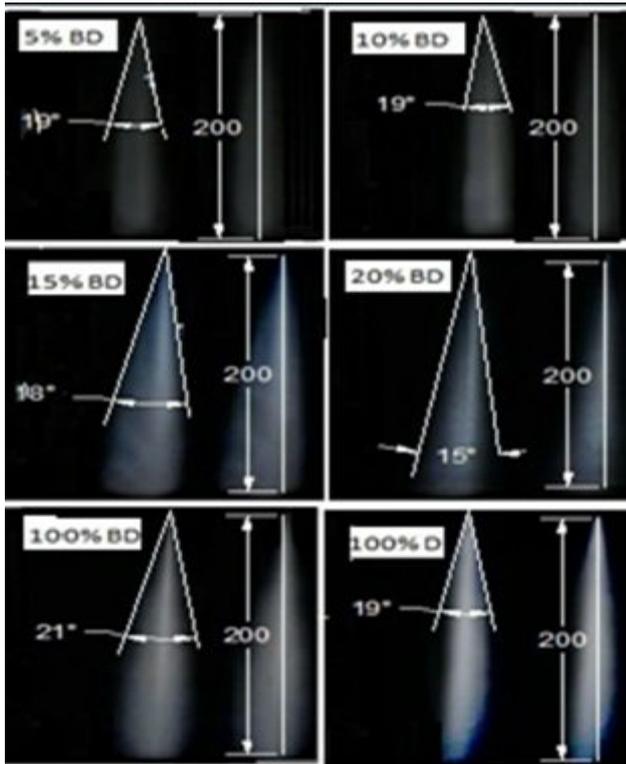
Data yang ingin diperoleh pada pengujian ini meliputi data sudut semprotan yang terbentuk (θ), panjang tip penetrasi semprotan (L), kecepatan semprotan (U_{in}) dan SMD . Dengan memvariasikan campuran minyak nyamplung dengan solar sebanyak 6 kali pengujian tersebut, diharapkan dapat diketahui karakteristik semprotan dari minyak nyamplung tersebut, dan perbedaannya dengan minyak solar murni. Sehingga dapat diprediksi hal – hal apa saja yang perlu dikembangkan agar minyak nyamplung ini benar – benar dapat digunakan pada mesin diesel kedepannya.

Nosel injektor yang berfungsi sebagai alat pengabutan pada mesin diesel ini dikonstruksi sedemikian rupa dengan komponen-komponen yang terdiri atas rumah pengabut, katup dan bak pengabut yang ditempatkan di bagian bawah dari pengabut dan berada di dalam ruang bakar. Dalam proses pengabutan ini bahan bakar telah berada dalam keadaan bertekanan tinggi dan katup injeksi sudah terbuka sejak langkah pengisapan oleh torak dan pada kondisi demikian ini sebagian bahan bakar telah menetes ke bak pengabut yang di bagian sisinya terdapat lubang-lubang kecil (Suryantoro, 2012).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 3 dan Tabel 1 serta Grafik 1 berikut ini, diketahui bahwa panjang tip penetrasi semprotan untuk setiap pengujian semuanya memiliki panjang yang sama, yaitu 200 mm (0.2 m). yang membedakannya hanyalah kecepatan terbentuknya semprotan tersebut. Dari tabel tersebut diketahui bahwa untuk campuran 5% BD jarak 0.2 m tercapai dalam waktu 0.0088 s sehingga kecepatan tip penetrasinya adalah 25.6 m/s, sedangkan untuk solar murni 100% D jarak 0.200 m tercapai hanya dalam waktu 0.0037 s sehingga kecepatan tip penetrasinya 54.1 m/s.

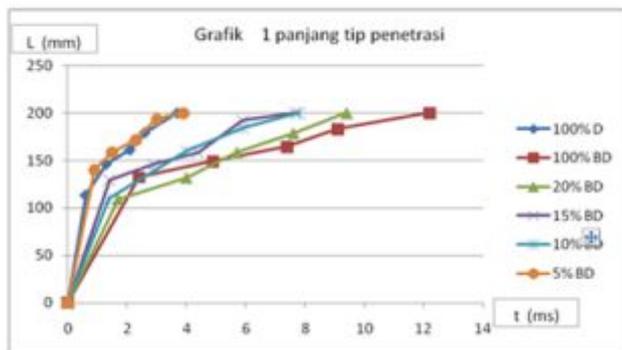
Terlihat dari tabel tersebut bahwa semakin banyak persentase biodiesel pada campuran maka akan mengakibatkan akan semakin lama tercapainya tip penetrasi atau dengan kata lain kecepatan tip penetrasinya semakin kecil. Kecepatan tip penetrasi yang paling kecil terdapat pada minyak biodiesel murni 100% BD, dimana nilai kecepatan tip penetrasinya tersebut hanya sekitar 16.4 m/s, empat kali lebih kecil dari nilai kecepatan pada minyak solar murni 100% D. Hal ini menjadi wajar adanya dikarenakan kekentalan (*viscositas*) dari minyak biodiesel yang lebih besar dari pada minyak solar murni sehingga tercapainya tip penetrasi akan lebih lambat untuk jarak yang sama. Yang menjadi pertanyaan besar pada data panjang tip penetrasi ini adalah panjang tip penetrasi yang nilainya sama untuk tiap pengujian yaitu sekitar 200 mm (0.2 m) panjangnya. Dimana panjang 200 mm ini merupakan panjang ruang penyemprotannya. Panjang sebenarnya dari tip penetrasi ini adalah lebih besar dari 200 mm tersebut.



Gambar 3. Karakteristik spray pada masing – masing pengujian

Tabel 1. Hasil Olah data pengujian

No	Nama Minyak	Sudut rata2, θ (deg)	Panjang semp, L (10^{-3} m)	Waktu semp. t (10^{-3} s)	kec. semp. v (m/s)
1	100% D	19	>200	3.7	54.1
2	5% BD	19	>200	3.9	51.2
3	10% BD	19	>200	6.8	35.6
4	15% BD	18	>200	7.9	25.9
5	20% BD	15	>200	9.4	21.2
6	100% BD	21	>200	12.2	16.4



Sedangkan secara teoritis, panjang tip penetrasi ini juga dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan pada berikut (Borman, 1998).

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \left(\frac{\rho_a}{\rho_L}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{t}{d_0}\right) \left(\frac{\Delta p}{\rho_L}\right)^{1/2}$$

Dengan nilai L_b dapat dihitung melalui rumus (Borman, 1998).

$$L_b = 15.8 d_0 \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_a}}$$

Dimana diketahui bahwa dari data pada Tabel pengujian dan tabel Tabel properties minyak solar murni 100% D didapat :

$$\begin{aligned} \Delta P_{inj} &= 150 \text{ bar} = 1.5 \times 10^7 \text{ Pa} \\ t &= 3.7 \text{ ms} = 0.0037 \text{ s} \\ \rho_L &= 880 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_a &= 1.2 \text{ kg/m}^3 ; \text{ dan} \\ d_0 &= 0.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga panjang L_b :

$$L_b = 15.8 \times 0.2 \sqrt{\frac{880}{1.2}} = 85 \text{ mm}$$

Dan panjang tip penetrasi, L :

$$\begin{aligned} L &= 85 \times 0.0349 \left(\frac{1.2}{880}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{3.7}{0.2}\right) \left(\frac{1.5 \times 10^7}{880}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 266 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada Tabel 1 juga didapatkan nilai kecepatan tip semprotan yang terjadi berkisar 54.1 m/s yang terjadi pada minyak diesel murni (100% D), sedangkan untuk minyak biodiesel murni (100% BD) nilai kecepatan semprotannya paling rendah yaitu hanya sekitar 16.4 m/s. Nilai kecepatan semprotan ini dapat diperkirakan secara teoritis dengan menggunakan persamaan berikut (Liguang, 2007) :

$$U_{in} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho_L}}$$

dimana :

$$\begin{aligned} C_d &= 0.6 \text{ (asumsi)} ; \\ \rho_L &= 940 \text{ kg/m}^3 \\ \Delta P_{inj} &= 150 \text{ bar} = 1.5 \times 10^7 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Sehingga nilai kecepatan semprotan ini adalah :

$$U_{in} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho_L}} = 0.6 \sqrt{\frac{2 \times 1.5 \times 10^7}{940}} = 107.5 \text{ m/s}$$

Jika dibandingkan dengan nilai kecepatan yang terukur nilai tersebut diatas lebih tinggi yang mana nilai pada pengujian hanya 54.1 m/s. hal ini dikarenakan nilai kecepatan 107.5 m/s diatas merupakan nilai kecepatan awal semprotan, sedangkan nilai kecepatan 54.1 m/s merupakan nilai kecepatan rata – rata.

Untuk besarnya sudut semprotan secara teoritis, dapat menggunakan rumus berikut ini (Borman, 1998)

$$\theta = 0.05 \left(\frac{\Delta p \cdot d_0^2}{\rho_L v_L^2} \right)^{3/4}$$

Dimana

$$\begin{aligned} \Delta P_{inj} &= 150 \text{ bar} = 1.5 \times 10^7 \text{ Pa} \\ v_L &= 3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \\ \rho_L &= 840 \text{ kg/m}^3; \text{ dan} \\ d_0 &= 0.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga :

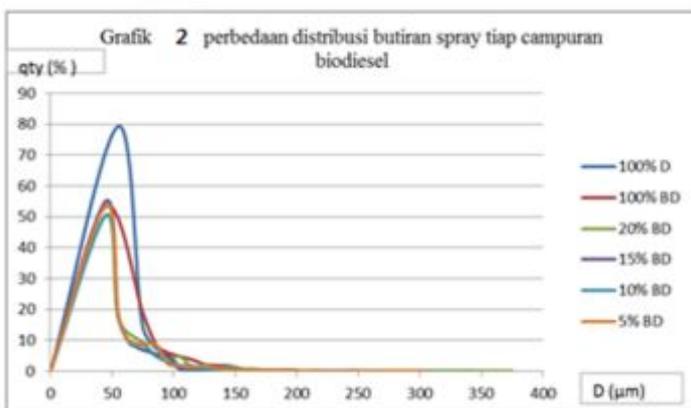
$$\begin{aligned} \theta &= 0.05 \left(\frac{1.5 \times 10^7 \cdot 0.2^2}{840 \times 9 \times 10^{-14}} \right)^{3/4} \\ &= 15^\circ \end{aligned}$$

Nilai ini sedikit lebih besar dari nilai sudut pada pengujian semprotan dengan minyak solar murni, nilai sudut yang didapat pada pengujian sebesar 13°.

Dan tabel 2 berikut merupakan resume dari total tabel distribusi semprotan untuk tiap campuran biodiesel yang berbeda, sedangkan Grafik 2 merupakan implementasi data yang mewakili tabel – tabel distribusi diameter butiran pada masing – masing semprotan.

Tabel 2 Data total distribusi butiran tiap campuran biodiesel

No	% BDdie sel	Jumlah butir (n)	D min		D max		D rata2 (µm)
			(µm)	%	(µm)	%	
1	5% BD	5982	40	53	305	0,02	60
2	10% BD	5429	42	50	211	0,02	78
3	15% BD	5056	40	55	301	0,02	82
4	20 % BD	4806	41	50	541	0,08	61
5	100% BD	3013	49	53	259	0,03	66
6	100% D	1749	52	79	230	0,03	63



Pada Tabel 2 diatas didapatkan nilai diameter rata – rata semprotan dengan minyak solar (100% D), adalah sekitar 60 µm dan yang paling besar adalah terjadi pada campuran minyak biodiesel 20%, dimana didapatkan nilai diameter rata – rata sebesar 82 µm. Sementara nilai diameter rata – rata dari semprotan yang terjadi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Sauter Mean Diameter (SMD)* berikut (Viriatoet al,1996)

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

Dimana dari data – data sifat minyak biodiesel murni (100% BD) yang ada pada lampiran didapat :

$$\begin{aligned} \sigma &= 32 \text{ dyne/cm} = 0.032 \text{ N/m} \\ \rho_L &= 940 \text{ kg/m}^3 \\ v_a &= 103.55 \text{ m/s} \\ \mu_L &= 59 \text{ mm}^2/\text{s} \\ AFR &= 1 \end{aligned}$$

Sehingga nilai teoritis dari diameter rata – rata untuk semprotan pada minyak 100% BD tersebut adalah sbb :

$$\begin{aligned} SMD &= 10^{-3} \left[\frac{\sqrt{(0.032 \times 940)}}{1.2 \times 103.55} \right] \left(1 + \frac{1}{1} \right)^{0.5} + 6 \times 10^{-5} \left[\frac{(59 \times 10^{-6})^2}{0.032 \times 1.2} \right]^{0.425} \left(1 + \frac{1}{1} \right)^{0.5} \\ &= 44.8 \text{ µm} \end{aligned}$$

Nilai ini lebih kecildari nilai diameter rata-rata pada pengujian semprotan pada solar murni.

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa simpulan seperti tertera di bawah ini, yaitu :

1. Panjang tip penetrasi yang terdapat pada tiap pengujian (5% BD, 10% BD, 15% BD, 20% BD, 100 % BD, dan 100 % D) memiliki nilai yang sama, yaitu lebih dari 200 mm. Nilai ini jauh melebihi dari nilai perkiraan awal yang sekitar 60 – 80 mm, mengingat penelitian sebelumnya didapatkan panjang tip penetrasi sekitar 60 mm.
2. Kecepatan terbentuknya tip penetrasi yang diperoleh pada biodiesel murni sebesar 16.4m/s. Masih berbeda jauh dengan nilai kecepatan pada minyak solar murni 100% D yang kecepatan tip penetrasinya sekitar 54,1 m/s. Jadi hal ini membuktikan bahwa penambahan minyak biodiesel biji nyamplung pada solar akan memperkecil nilai kecepatan tip penetrasinya.
3. Sudut semprotan yang terbentuk pada campuran minyak biodiesel ini relatifsama dengan sudut penyemprotan pada minyak solar murni, yaitu sekitar 19°. Hanya saja pada minyak nyamplung murni 100%, sudut semprotannya lebih besar yaitu sekitar 19°.
4. Pada tiap semprotan yang terjadi pada pengujian ini, distribusi diameter butiran yang paling mendominasi adalah butiran dengan ukuran 40 – 80 µm. Persentase diameter yang dominan

tersebut berkisar pada nilai 50%. Untuk minyak biodiesel nyamplung dan campurannya, sedangkan untuk minyak solar murni persentase diameter butiran yang dominan tersebut berkisar pada nilai 79%, jauh lebih besar daripada minyak biodiesel nyamplung dan campurannya tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

Borman, GL. 1998. Combustion Engineering. Prentice Hall. New York.

Liguang, *et al.* 2007. Experimental study of the spray characteristics of biodiesel based on inedible oil. (Biotechnology Advances 27 (2009). Journal homepage: www.elsevier.com/locate/biotechad.

I.G.B Wijaya, 2003. Pembuatan biodiesel dan pengujian terhadap prestasi kinerja mesin diesel. Journal poros, V 6 (4).

Gao, *et al.*, 2005. Experimental study of the spray characteristics of biodiesel based on inedible oil. (Biotechnology Advance). Journal homepage: www.elsevier.com/locate/biotechad.

Suryantoro, 2012. Pengembangan kemampuan uji mesin diesel dengan system injeksi tekanan tinggi. Didapat dari: URL <http://www.btmp-bppt.net>.

Viriato *et al.*, 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.