

Efek penambahan aditif multi-walled carbon nanotubes terhadap karakteristik pembakaran single droplet metil laurat

Nurkholis Hamidi, Dyo Harpiwanda, Lilis Yuliati
Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang

hamidy@ub.ac.id

ABSTRACT

The development of biodiesel in the form of fatty acid methyl ester (FAME) is one of the most promising alternative energy sources. FAME is a fuel resulting from the transesterification of several fatty acids from vegetable oils, one of which is methyl laureate. As a fuel, methyl laureate has several disadvantages, including low heating value and thermal conductivity. In this study, a Carbon nanotube (CNT) additive was added to methyl laureate to improve its combustion characteristics. Observations were made on the combustion of methyl laureate droplets to determine the combustion characteristics in the form of ignition delay time, combustion duration, combustion rate, evolution diameter, and combustion temperature, as well as to visualize the height and width of the droplet flame. The results show that the addition of the CNT additive can reduce the ignition delay time, increase the burning rate flame spread velocity, and also increase the spread of the combustion flame.

Keywords: biodiesel, fatty acid methyl ester (FAME), carbon nanotube (CNT), metil laurat, pembakaran droplet

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil, terutama batu bara, minyak bumi, dan gas alam, menjadi sumber energi utama di dunia modern untuk keperluan transportasi, pembangkit listrik, industri, dan kebutuhan publik. Bahan bakar fosil saat dominan penggunaannya dalam masyarakat karena memiliki karakteristik pembakaran yang baik dan praktis dalam penggunaannya. Namun demikian, sumber energi ini memiliki dua masalah besar yang terkait dengan masalah lingkungan dan menipisnya ketersediaan cadangan. Pembakaran bahan bakar fosil yang massif selama ini telah menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Karbon dioksida dan polutan hasil pembakaran telah mengakibatkan efek rumah kaca dan pencemaran yang dapat membahayakan planet bumi kita ini.

Saat ini, banyak negara termasuk Indonesia, telah memperkenalkan kebijakan untuk mendorong penggunaan bahan bakar biodiesel yang berbahan dasar minyak nabati dan hewani sebagai substitusi bahan bakar solar pada sarana transportasi dan industri. Penggunaan biodiesel yang bersifat terbarukan tidak hanya berguna untuk mengatasi masalah ketersediaan energi tetapi juga untuk mencegah degradasi lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil yang massif.

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah ramah lingkungan, memiliki efek rumah kaca rendah, terbarukan, kandungan sulfur rendah, memiliki angka cetane tinggi, dan biodegradable sangat sesuai sebagai pengganti minyak fosil [1, 2]. Meskipun biodiesel memiliki beberapa sifat yang lebih unggul dibanding solar, namun secara umum masih belum bisa menyamai sifat-sifat solar sebagai bahan bakar mesin diesel. Ada permasalahan dalam biodiesel terkait viskositas tinggi, temperatur nyala tinggi, nilai kalor rendah, burning rate rendah, dan ignition delay panjang. Viskositas bahan bakar yang tinggi dapat mengakibatkan daya atomisasi rendah sehingga dapat menyebabkan pembakaran kurang sempurna dan mesin kehilangan tenaga [3]. Viskositas bahan bakar tinggi juga dapat menghambat pompa injeksi pada mesin diesel dan tidak mampu menghasilkan pengkabutan (atomisasi) yang baik ketika disemprotkan ke dalam ruang bakar, sehingga hasil dari injeksi tidak berwujud kabut yang mudah menguap melainkan tetesan bahan bakar yang sulit terbakar [4].

Untuk mengatasi masalah yang dimiliki oleh biodiesel, dapat dilakukan dengan jalan memperbaiki kualitas atau karakteristik pembakarannya. Penambahan zat aditif cair seperti senyawa alkohol serta zat aditif solid seperti carbon nano tube (CNT) memiliki potensi untuk diterapkan dalam usaha tersebut. Senyawa alkohol dapat

digunakan untuk memperbaiki kekurangan biodiesel terkait karakteristik cold flow, densitas dan viskositas tinggi, ignition delay panjang, serta pembentukan emisi jelaga. Sedangkan aditif CNT berpotensi untuk meningkatkan konduktivitas termal biodiesel yang dapat memperbaiki karakteristik pembakaran [5]. Dibandingkan dengan bahan oksida logam atau logam, CNT memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi [6]. *Carbon nano tubes* (CNT) merupakan salah satu nano partikel yang dapat diterapkan sebagai aditif bahan bakar [7]. Berdasar lembar dinding, terdapat dua tipe carbon nano tube, yakni single wall carbon nanotube (SWCNT) yang memiliki konduktivitas termal sebesar 2000 W/m.K, dan multy wall carbon nano tube (SWCNT) dengan konduktivitas termal 3000 W/m.K.

Penambahan CNT dengan jenis multi-walled carbon nanotubes telah menunjukkan efek positif berupa penurunan viskositas dan densitas serta peningkatan nilai pemanasan yang membantu dalam meningkatkan penguapan dan atomisasi tetesan bahan bakar selama proses pembakaran. Ignition delay time juga menurun pada biodiesel dengan bahan bakar campuran CNT jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel karena peningkatan cetane number.

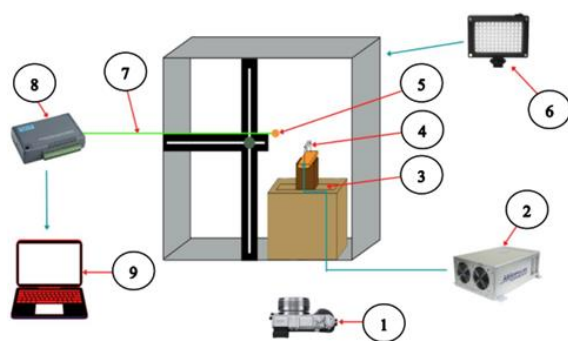
Pengembangan biodiesel dalam bentuk Fatty Acid Methyl Ester (FAME) merupakan salah satu yang paling menjanjikan sebagai energi alternatif. Karena FAME diproduksi dari minyak nabati, maka FAME tersusun dari berbagai macam *fatty acids* (asam lemak). Oleh karena itu, sangat penting bagi kita memahami bagaimana pengaruh penambahan aditif

terhadap berbagai metil ester asam lemak tunggal. Dalam tahap penelitian ini, kami mencoba mengamati pengaruh penambahan aditif CNT terhadap karakteristik pembakaran droplet metil laurat. Metil laurat dipilih sebagai sampel dalam penelitian ini, karena asam laurat banyak terdapat dalam minyak nabati antara lain minyak kelapa dan minyak biji sawit. Hasil pengamatan terhadap pengaruh CNT terhadap metil laurat diharapkan menjadi informasi penting dalam pengembangan biodiesel kedepannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian pembakaran droplet dilakukan dalam kondisi gravitasi normal pada tekanan atmosfer dan temperatur ruang dalam insulated rectangular chamber yang digunakan untuk mengisolasi droplet dari pengaruh aliran udara sekitar selama pengujian. Skema untuk experimental setup ditunjukkan pada Gambar 1. Pada penelitian ini digunakan digital camera dengan resolusi 1920 x 1080 pixels dan frame rate 60 fps. Proses penyalaan droplet menggunakan pemanasan dari Ni-Cr electric coil heater dengan hambatan kawat 1,02 Ω , diameter 0,9 mm, dan panjang 25 mm. Energi listrik untuk coil heater disuplai dari arus bolak balik 220 V yang dikonversi ke arus searah 12 V menggunakan step-down transformer dengan daya 50 W, arus 8 A, dan hambatan 8 Ω .

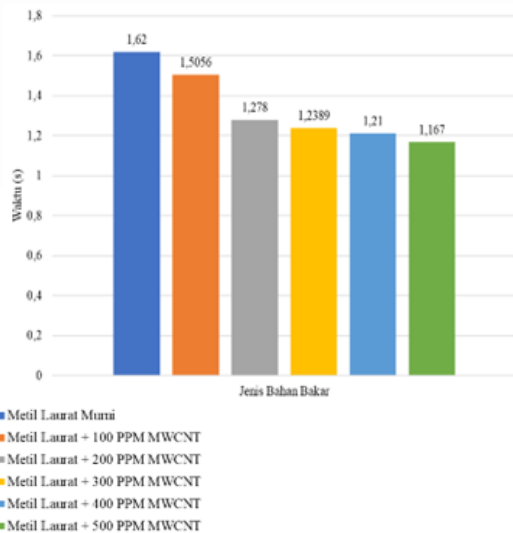
Droplet dengan diameter $1,8 \pm 0,05$ mm dibentuk menggunakan 10 μL microsyringe dengan volume ekuivalennya sebesar 3,05 μL . Pada temperatur ruang, LA berfase padat, sehingga diperlukan proses preheating menggunakan hot plate magnetic stirrer pada temperatur 40°C hingga mencapai fase cairnya. Pengujian menggunakan suspended droplet method dengan bahan bakar droplet dibentuk pada ujung termokopel tipe R. Ujung termokopel diletakkan 3 mm di atas electric heater dengan temperatur pemanasan mencapai 720°C. Termokopel membaca data analog dihubungkan ke Advantech USB-4718 data acquisition module dengan maximum error $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Data logger mengonversi data analog menjadi data digital yang terbaca dan tersimpan pada komputer dengan interval pengukuran sebesar 100 ms dalam comma-separated values (CSV) format files. Teknik pengambilan video uji pembakaran droplet menggunakan self-illuminated direct imaging method. Perubahan temporal dari diameter droplet dan visualisasi nyala



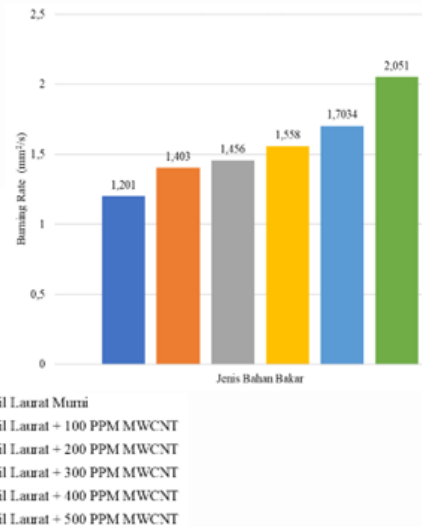
Keterangan:

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1. Kamera | 6. Light diffuser |
| 2. AC-DC converter | 7. Thermocouple |
| 3. Jalur coil heater | 8. Data logger |
| 4. Coil heater | 9. Laptop |
| 5. Thermocouple junction | |

Gambar 1 Instalasi penelitian



Gambar 2 Ignition delay pembakaran droplet metil laurat + CNT



Gambar 3 Burning rate pembakaran droplet metil laurat + CNT

api dianalisa menggunakan prosedur image post-processing technique dengan ImageJ software.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ignition Delay

Gambar 2 merupakan grafik yang menunjukkan ignition delay time pada droplet metil laurat dan droplet metil laurat + MWCNT. Sumbu x menunjukkan variabel bebas berupa jenis senyawa dan sumbu y menunjukkan variabel terikat berupa ignition delay time. Ignition delay time adalah waktu yang dibutuhkan droplet agar terbakar dimulai saat heater berada di bawah droplet.

Berdasarkan Gambar 2 diketahui jika urutan nilai ignition delay time dari tertinggi hingga terendah, yaitu metil laurat murni, metil laurat + 100 PPM MWCNT, metil laurat + 200 PPM MWCNT, metil laurat + 300 PPM MWCNT, metil laurat + 400 PPM MWCNT dan metil laurat + 500 PPM MWCNT dengan nilai masing-masing sebesar 1,62 s, 1,5056 s, 1,278 s, 1,2389, 1,21 s, dan 1,167 s. Dari gambar diatas dapat disimpulkan jika penambahan MWCNT berpengaruh pada nilai ignition delay time. Semakin banyaknya jumlah MWCNT pada metil laurat mengakibatkan nilai ignition delay time semakin menurun. Hal ini dikarenakan nilai yang tinggi dari konduktivitas termal dan perpindahan panas dari MWCNT yang tinggi sehingga proses pertukaran termal antara biofuel dan udara di sekitarnya lebih cepat [8].

Pada awal data bahan bakar metil laurat murni, kalor yang diserap oleh droplet dari heater membuat kenaikan temperatur droplet lebih sedikit

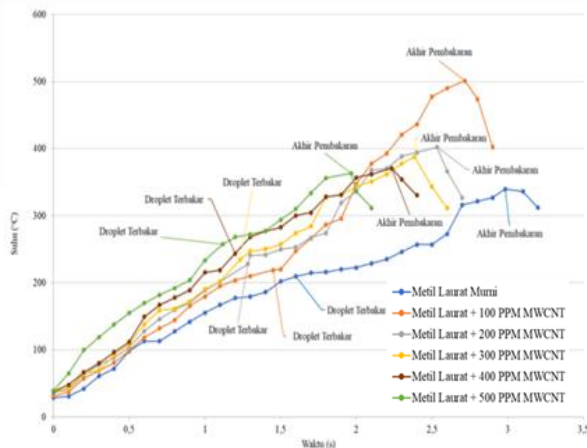
daripada droplet bahan bakar metil laurat MWCNT yang temperaturnya cenderung meningkat lebih cepat. Akibatnya, droplet bahan bakar metil laurat + MWCNT akan lebih cepat menyala daripada droplet bahan bakar metil laurat murni. Konduktivitas termal yang tinggi pada MWCNT membuat perpindahan panas yang terjadi semakin cepat sehingga droplet akan semakin cepat menyala. Jika mengamati droplet metil laurat murni dan droplet metil laurat + 500 PPM MWCNT terjadi penurunan sebesar 27,96 % pada ignition delay time.

Burning Rate

Burning rate pada pembakaran droplet metil laurat dan droplet metil laurat + MWCNT ditunjukkan pada Gambar 3. Burning rate didapatkan dari selisih kuadrat diameter awal droplet dengan kuadrat diameter akhir droplet dibagi dengan burning duration.

Berdasarkan Gambar 3 diketahui jika urutan nilai Burning rate dari tertinggi hingga terendah, yaitu metil laurat murni, metil laurat + 100 PPM MWCNT, metil laurat + 200 PPM MWCNT, metil laurat + 300 PPM MWCNT, metil laurat + 400 PPM MWCNT dan metil laurat + 500 PPM MWCNT dengan nilai masing-masing sebesar 1,201 mm²/s, 1,403 mm²/s, 1,456 mm²/s, 1,558 mm²/s, 1,7034 mm²/s, dan 2,051 mm²/s. Dari hasil diatas dapat disimpulkan jika penambahan MWCNT berpengaruh pada nilai burning rate. Semakin banyak kandungan MWCNT pada metil laurat mengakibatkan nilai burning rate semakin meningkat.

Konduktivitas termal yang tinggi pada MWCNT mengakibatkan penyerapan kalor yang terjadi



Gambar 4 Temperatur droplet metil laurat + CNT

semakin baik juga. Hal ini mengakibatkan kenaikan temperatur yang terjadi pada saat proses pembakaran semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kandungan MWCNT didalam droplet bahan bakar metil laurat. Selain itu, kandungan MWCNT pada bahan bakar juga akan mempengaruhi ukuran diameter dari bahan bakar droplet. Ukuran diameter droplet bahan bakar metil laurat + MWCNT yang cenderung lebih besar saat mulai terbakar karena penguapan yang terjadi dan durasi

pembakaran yang lebih singkat menyebabkan nilai burning rate cenderung lebih besar daripada droplet bahan bakar metil laurat murni.

Temperatur Droplet

Gambar 4 merupakan grafik yang menunjukkan burning duration pada droplet metil laurat dan droplet metil laurat + MWCNT. Temperatur yang diukur merupakan temperatur droplet pada termokopel junction yang dihubungkan dengan data logger. Pada saat $t=0$ merupakan kondisi dimana posisi heater tepat berada dibawah droplet.

Berdasarkan Gambar 4 diketahui jika urutan nilai temperatur maksimal dari tertinggi hingga terendah, yaitu metil laurat + 100 PPM MWCNT, metil laurat + 200 PPM MWCNT, metil laurat + 300 PPM MWCNT, metil laurat + 400 PPM MWCNT, metil laurat + 500 PPM MWCNT dan metil laurat murni dengan nilai masing-masing sebesar 501,22 °C, 402,43 °C, 387,66 °C, 370,7 °C, 363,12 °C, dan 339,66 °C. Dari gambar diatas dapat disimpulkan jika penambahan MWCNT berpengaruh pada nilai temperatur maksimal pembakaran droplet.

Penyerapan kalor yang baik pada MWCNT mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur yang lebih tinggi pada campuran bahan bakar droplet metil laurat + MWCNT. Tingginya

kenaikan temperatur pada campuran bahan bakar droplet metil laurat + MWCNT menyebabkan proses pembakaran terjadi lebih cepat sehingga droplet akan habis lebih cepat juga. Hal tersebut mengakibatkan nilai temperatur maksimal dari variasi pembakaran droplet metil laurat + 200 PPM MWCNT, metil laurat + 300 PPM MWCNT, metil laurat + 400 PPM MWCNT, metil laurat + 500 PPM MWCNT tidak dapat mencapai temperatur maksimal seperti variasi metil laurat + 100 PPM MWCNT karena pembakaran droplet yang semakin singkat karena droplet yang cepat habis terbakar. Untuk nilai temperatur maksimal pembakaran droplet metil laurat murni merupakan nilai temperatur maksimal paling rendah jika dibandingkan dengan variasi lain dikarenakan tidak ada kandungan MWCNT pada variasi tersebut sehingga penyerapan kalor yang terjadi tidak sebaik variasi droplet metil laurat yang terdapat kandungan MWCNT.

Jika mengamati nilai temperatur nyala dan waktu temperatur nyala dari tiap jenis bahan bakar, variasi metil laurat + 500 PPM MWCNT memiliki nilai temperatur nyala paling tinggi yaitu sebesar 257,37 °C dengan waktu mulai menyala paling cepat yaitu dengan durasi 1,1167s dan setelah itu diikuti dengan variasi metil laurat + 400 PPM MWCNT, metil laurat + 300 PPM MWCNT, metil laurat + 200 PPM MWCNT, metil laurat + 100 PPM MWCNT dan metil laurat murni. Variasi metil laurat + 500 PPM MWCNT memiliki nilai temperatur nyala tertinggi dan waktu temperatur nyala tercepat dikarenakan kandungan MWCNT pada variasi tersebut yang lebih banyak daripada variasi lain sehingga penyerapan kalor yang terjadi akan semakin baik juga.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, kesimpulan yang didapatkan pada pengaruh penambahan MWCNT terhadap karakteristik pembakaran droplet metil laurat adalah semakin menurunnya nilai ignition delay time, nilai burning rate yang semakin meningkat, dan meningkatnya nilai kenaikan temperatur pada karakteristik pembakaran droplet. Selain itu, burning duration juga semakin singkat dan diameter droplet menguap lebih cepat.

Pada temperatur pembakaran droplet, terjadi kenaikan temperatur yang lebih tinggi pada droplet campuran metil laurat dan MWCNT dikarenakan kemampuan penyerapan kalor yang

baik pada MWCNT. Selain itu, kemampuan penyerapan kalor yang baik pada MWCNT mengakibatkan penurunan pada nilai ignition delay time sehingga pada saat pembakaran droplet lebih cepat menyala. Akan tetapi, dikarenakan peningkatan suhu yang lebih tinggi pada droplet mengakibatkan droplet menjadi cepat habis terbakar sehingga nilai temperatur maksimum yang dihasilkan cenderung menurun dan nilai burning duration menjadi semakin singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ando, S., Wu, Y., Nakaya, & Tsue, M. (2020). Droplet Combustion Behavior of Oxidatively Degraded Methyl Laurate and Methyl Oleate in Microgravity. *Combustion and Flame*. 214, pp. 199-210.
- [2] Nasreen, S., Nafees, M., Qureshi, L. A., Asad, M. S., Sadiq, A. & Ali, S. D. (2018). Review of catalytic transesterification methods for biodiesel production. *Intech*.
- [3] Rodrigues, J., Cardoso, F. de P., Lachter, L. R. M., Estevão, E., Lima, & Nascimento, R. S. V. (2006). Correlating chemical structure and physical properties of vegetable oil esters. *JAOCS*, 83 (4): 353–357. DOI: 10.1007/s11746-006-1212-0.
- [4] Von Wedel. R. (1999). *Technical Handbook for Marine Biodiesel*, Cyto Culture International Inc., California.
- [5] Wang, J., Qiao, X., Ju, D., Wang, L., & Sun, C. (2019). Experimental study on the evaporation and micro-explosion characteristics of nanofuel droplet at dilute concentrations. *Energy*. 183(9): 149-159.
- [6] Nasiri, A., Shariaty-Niasar, M., Rashidi, A. M., & Khodafarin, R. (2012). Effect of CNT structures on thermal conductivity and stability of nanofluid. *International Journal of heat and Mass transfer*, 55(5-6), 1529-1535
- [7] Han, Z., & Fina, A. (2011). Progress in Polymer Science Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review. *Progress in Polymer Science*. 36(7): 914-944.
- [8] Lee, C. C., Tran, M. V., Tan, B. T., Scribano, G., & Chong, C. T. (2021). A comprehensive review on the effects of additives on fundamental combustion characteristics and pollutant formation of biodiesel and ethanol. *Fuel*, 288, 119749.