KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET DENGAN VARIASI KOMPOSISI CAMPURAN BENKIN-ETANOL

Arwin

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
arwinteknikotomotif@rocketmail.com

Lilis Yulianti

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
lilis_y@ub.ac.id

Agung Sugeng Widodo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
agung_sw@ub.ac.id

The objective of this research is to investigate the droplet combustion characteristics of gasoline-ethanol fuel blended. The combustion characteristics included ignition delay time, burning lifetime, burning rate constant, flame height, flame temperature, and microexplosion. Testing was conducted using fuel blended with ethanol percentage of 0%(E0), 10%(E10), 20% (E20), 30% (E30) and 100% (E100). The fuel was dripped on the tip of the thermocouple junction and ignited using a torch of a butane-air mixture on a cylindrical burner. The results showed that the ignition delay time increase with the increase of ethanol percentage due to its high latent heat of evaporation and flash point temperature. However, flame temperature decrease with the increase of ethanol percentage due to the lower heat release rate of the mixture, related to the lower heating value of ethanol, and the burning rate constant of the fuels were not different significantly. The droplet diameter of the E100 (pure ethanol) decrease according to the d^2 -law, but the droplet diameters of the E0, E10, E20, and E30 changed drastically, exhibiting expansion and shrinkage. The Combustion of E20 fuel droplet has the highest burning rate constant, and flame height due to the oxygen content in ethanol can accelerate the combustion reaction and the fastest fuel droplet evaporates and diffuses into the air. Besides, the combustion of the E20 fuel droplet has the lowest burning lifetime due to the intensity of the microexplosion often makes the fuel droplet break into small droplets, which helps accelerate the process of evaporation and mixing of fuel with air, so that the combustion reaction occurs faster. Microexplosion phenomenon also identified due to the difference between the boiling point temperature gasoline and ethanol.

Keywords: Droplet Combustion Characteristics, Gasoline, Ethanol

1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini tidak dapat dipungkiri bahwa bahan bakar yang berasal dari minyak bumi merupakan bahan bakar yang paling sering dan paling luas digunakan oleh seluruh manusia. Data EIA AS (*Energy Information Administration*) menunjukkan konsumsi global minyak bumi mengalami kenaikan dari tahun ke tahun, seperti pada tahun 2017 dengan total konsumsi dunia 98,55 juta barel per hari meningkat menjadi 100 juta barel per hari pada tahun 2018 [1]. Sehingga salah satu jalan menghemat penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*).

Etanol (C_2H_5OH) adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti dan campuran bahan bakar bensin yang dapat diinjeksikan langsung ke dalam ruang bakar. Etanol dapat dibuat dari proses pemasakan, fermentasi, distilasi dan dehidrasi beberapa jenis tanaman yang mengandung sukrosa seperti tebu, jagung, singkong, bit, dan buah-buahan atau tanaman lain yang kandungan karbohidratnya tinggi seperti jagung, beras dan sorgum. Bahkan dalam beberapa penelitian ternyata etanol juga dapat dibuat dari biomassa lignoselulosa seperti limbah hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan [2, 3].

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan campuran bensin-etanol hingga 20% (E20) dapat

meningkatkan torsi dan daya dibandingkan dengan menggunakan bensin murni dan sebaliknya emisi CO, HC dan NO_x menurun secara signifikan dengan peningkatan kandungan etanol dalam campuran [4, 5]. Selain itu ditemukan bahwa dengan melakukan pemanasan awal bahan bakar etanol membantu meningkatkan penguapan etanol dan efektif untuk mengatasi masalah tingkat penguapan etanol yang rendah di lingkungan mesin suhu rendah serta efek pendinginan berlebih pada kondisi rasio etanol tinggi [6].

Pembakaran yang terjadi di dalam mesin bensin dengan sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*) terdapat suatu proses dimana pemasukan bahan bakar dengan cara disemprotkan langsung ke ruang bakar untuk bercampur dengan udara lalu dikompresikan kemudian dibakar. Bahan bakar yang disemprotkan tersebut berupa *spray* yang merupakan kumpulan *droplet*. Oleh karena itu, karakteristik pembakaran *spray* nya dapat diperiksa lebih lanjut melalui perilaku pembakaran *droplet*.

Rao, *et al.* [7] dalam penelitiannya mengamati karakteristik pembakaran *droplet* campuran bahan bakar etanol/Jet A-1 dilakukan pada kondisi suhu ruangan $25 \pm 5^\circ\text{C}$, 1 atm, dan RH $\sim 75 \pm 5\%$. Dari hasil penelitian di simpulkan bahwa pada persentase etanol rendah fenomena yang dominan terjadi adalah *puffing*, dan *abrupt explosion*, sementara fenomena *microexplosion* secara umum terjadi pada persentase etanol yang lebih tinggi. Baik *abrupt explosion* dan *microexplosion* menciptakan distorsi api skala besar yang mengelilingi *droplet* induk. *Droplet* sekunder yang dihasilkan dari *abrupt explosion* mengalami penguapan yang lebih cepat dibandingkan dengan *droplet* sekunder dari *microexplosion*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase campuran bahan bakar bensin-etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* yang meliputi *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, temperatur api dan *microexplosion*.

2. METODE DAN BAHAN

Keterangan:

1. Laptop	7. Handle flame ignitor cover
2. Data logger	8. Flowmeter
3. Ruang uji bakar <i>droplet</i>	9. Kompresor
4. Pembuat <i>droplet</i>	10. Botol bahan bakar butan
5. Thermocouple	11. Kamera
6. Cylindrical burner	12. Tripod

Gambar 1: Instalasi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental (*experimental method*). Penelitian

dilakukan pada instalasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik pembakaran *droplet* campuran bensin-etanol. Persentase campuran etanol dalam bensin divariasikan sebesar 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30), dan 100% (E100). Pembuatan *droplet* dengan diameter 1 mm toleransi $\pm 0,1$ mm diletakkan pada *thermocouple junction* yang berfungsi sebagai peyangga *droplet* sekaligus untuk mengukur temperatur api. *Thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *thermocouple* tipe K dengan diameter 0,1 mm yang dihubungkan *advantech data logger*. Penyalaan *droplet* dilakukan dengan pemanasan dari nyala api pembakaran butan-udara pada *cylindrical burner* yang diletakkan di bawah *flame ignitor cover* pada jarak 15 mm. Debit bahan bakar butan dijaga konstan sebesar 10 ml/menit dan debit udara sebesar 400 ml/menit. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah *ignition delay time*, lama nyala api, konstanta *burning rate*, tinggi api, dan temperatur api.

Pengambilan data penelitian berupa video dengan menggunakan kamera Nikon D3400. Mode video yang dipakai adalah 60 fps (*frame per sekon*) kemudian diubah menjadi gambar dengan menggunakan *software Adobe Premiere Pro*. *Ignition delay time* dihitung dari banyaknya *frame* dimulai saat *flame ignitor cover* digeser hingga tepat satu *frame* sebelum terjadinya nyala api pada *droplet*. Sedangkan lama nyala api dihitung dari banyaknya *frame* pada saat mulai terjadinya nyala api sampai tepat satu *frame* sebelum api mulai padam. Tinggi api diukur dengan menggunakan *software ImageJ*. Selanjutnya konstanta *burning rate* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$d^2 = d_0^2 - Kt \quad (1)$$

Dimana d merupakan diameter akhir *droplet* (mm), d_0 adalah diameter awal *droplet* (mm), t adalah lama *droplet* menyala (detik), dan K adalah konstanta *burning rate* (mm^2/detik) [8]. Bahan yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* adalah bahan bakar bensin jenis pertalite dan etanol anhidrat PA (*Pro Analys*) yang memiliki kemurnian sangat tinggi ($> 99,5\%$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap *Ignition Delay Time*

Gambar 2: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*

Pada Gambar 2. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap *ignition delay time*. Nilai *ignition delay time* terendah ada pada E0 yaitu selama 0,116 detik dan nilai *ignition delay time* tertinggi ada pada E100 yaitu selama 0,450 detik. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin. Hal ini disebabkan karena etanol memiliki kalor laten penguapan yang 3 kali lebih tinggi yaitu sebesar 918,42 kJ/kg dibandingkan bensin yaitu sebesar 307,3 kJ/kg [9] yang mengindikasikan membutuhkan lebih banyak energi untuk berubah fase dari cair menjadi gas pada temperatur yang sama. Selain itu etanol memiliki nilai *flash point* yang lebih tinggi yaitu sebesar 13°C dibandingkan bensin yaitu sebesar -40°C [10]. *Flash point* sendiri merupakan suhu terendah dimana bahan bakar akan mengeluarkan uap dan membentuk campuran dengan udara yang dapat terbakar. Sehingga dapat dikatakan bahwa, semakin tinggi nilai *flash point* suatu bahan bakar maka waktu

penyalan bahan bakar tersebut semakin lama karena kecepatan penguapannya (*volatility*) yang lambat.

Disisi lain etanol memiliki temperatur *autoignition* lebih tinggi dibandingkan dengan bensin, yaitu sekitar 423°C sedangkan bensin sekitar 257°C [11]. Semakin kecil nilai temperatur *autoignition* suatu bahan bakar maka akan semakin mudah terbakar secara spontan.

3.2 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Lama Nyala Api

Gambar 3: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap lama nyala api

Pada Gambar 3. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap lama nyala api. Lama nyala api mengalami penurunan sampai pada persentase etanol 20% (E20) dalam bensin dan kemudian mengalami peningkatan lama nyala api pada persentase etanol 30% (E30) sampai 100% (E100). Hal ini terjadi karena pada persentase campuran etanol sampai 20% (E20) dalam bensin intensitas terjadinya *microexplosion* sering dan mengalami penurunan intensitas terjadinya *microexplosion* sampai pada persentase etanol 30% (E30). *Microexplosion* menyebabkan *droplet* bahan bakar pecah menjadi butiran-butiran kecil yang membantu mempercepat proses penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara sehingga reaksi pembakaran berlangsung semakin cepat [12]. Fenomena *microexplosion* dibahas pada bab berikutnya.

3.3 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Konstanta *Burning Rate*

Gambar 4: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap konstanta *burning rate*

Pada Gambar 4. menunjukkan grafik pengaruh persentase campuran etanol-bensin terhadap konstanta *burning rate*, dimana nilai konstanta *burning rate* tertinggi pada E20 dengan nilai 0,984 mm²/s sedangkan yang terendah pada E100 yaitu dengan nilai 0,658 mm²/s. Konstanta *burning rate* pada E10 dan E20 mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan etanol memiliki kandungan oksigen 34% dari beratnya [13]. Kandungan oksigen tersebut dapat mempercepat reaksi pembakaran, karena pada saat bahan bakar dipanaskan atom oksigen pada etanol akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen) pada etanol, sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya semakin cepat dan nilai konstanta *burning rate*nya semakin tinggi [14]. Namun pada E30 dan E100 mengalami penurunan nilai konstanta *burning rate* dikarenakan peningkatan kalor laten penguapan yang tinggi menyebabkan kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar lambat sehingga kecepatan pembakaran rendah. Campuran etanol dengan persentase 30% (G30) dalam bensin menurunkan nilai kalor dan meningkatkan kalor laten penguapan bahan bakar sehingga menghasilkan temperatur pembakaran dan kecepatan pembakaran yang rendah [15]. Pada waktu pembakaran yang sama di dalam mesin bensin, tingginya nilai konstanta *burning rate* pada bahan bakar E20 akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga berdampak pada pengurangan emisi CO dan HC. Selain itu memungkinkan semakin banyak *droplet* bahan bakar yang terbakar sehingga efisiensi pembakaran meningkat yang akan berdampak pada peningkatan torsi dan daya pada mesin bensin.

3.4 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Perubahan Diameter *Droplet*

Gambar 5: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap perubahan diameter *droplet*

Perubahan diameter *droplet* dihitung dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai kembali matinya api pada proses pembakaran *droplet*. Pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa E100 mengalami perubahan diameter *droplet* sesuai d^2 -law yang nilainya terus turun tanpa adanya fluktuasi. Nilai perubahan diameternya cenderung stabil dari awal *flame ignitor cover* digeser sampai mulai timbulnya api dan setelah timbul api terjadi perubahan diameter *droplet* yang lebih cepat. Pada persentase campuran E0 nilai perubahan diameternya tidak stabil. Hal ini dikarenakan komponen penyusun bensin terdiri dari hidrokarbon rantai lurus mulai dari C₄ sampai dengan C₁₂ yang masing-masing memiliki perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalan sehingga menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil.

Pada persentase campuran E10, E20 dan E30 terjadi fluktuasi yang ekstrem pada ukuran diameter *droplet* setelah terbakar. Hal ini dikarenakan adanya kandungan etanol menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil akibat perbedaan temperatur titik didih, penguapan, dan penyalan *droplet* bahan bakar. Setelah *droplet* terbakar terjadi pula *microexplosion* karena perbedaan temperatur titik didih dari etanol dan bensin yang dicampurkan pada E10, E20 dan E30 sehingga terjadi perubahan ukuran diameter *droplet* yang ekstrem.

3.5 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Temperatur Api

Gambar 6: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap temperatur api

Pada Gambar 6. menunjukkan E0 mempunyai nilai maksimum temperatur api tertinggi dibandingkan dengan yang lain, yaitu sebesar 445,701°C sedangkan nilai maksimum temperatur api terendah pada E100 yaitu sebesar 294,117°C. Semakin tinggi persentase campuran etanol dalam bensin menyebabkan penurunan nilai maksimum temperatur api. Hal ini disebabkan karena laju pelepasan panas yang lebih rendah dari campuran bahan bakar, terkait dengan nilai kalor etanol yang lebih rendah dan konstanta *burning rate* bahan bakar yang tidak berbeda secara signifikan. Nilai kalor etanol hanya sekitar 60% dibandingkan dengan bensin, dimana nilai kalor etanol yaitu sebesar 26.900 kJ/kg sedangkan bensin yaitu sebesar 44.000 kJ/kg [16]. Sehingga ketika etanol dicampurkan ke dalam bensin maka nilai kalor yang di miliki oleh campurannya akan berada diantara nilai kalor bensin dan nilai kalor etanol. Nilai kalor suatu bahan bakar menunjukkan jumlah panas/kalori yang dibebaskan dari proses pembakaran dalam satuan volume atau massa. Semakin rendahnya nilai maksimum temperatur api yang dihasilkan seiring dengan peningkatan kadar etanol dalam bensin berdampak pada pengurangan emisi NO_x hasil pembakaran pada mesin. Karena emisi NO_x akan terbentuk pada proses pembakaran dengan temperatur yang cukup tinggi.

3.6 Pengaruh Persentase Campuran Bensin-Etanol Terhadap Tinggi Api

Gambar 7: Grafik pengaruh persentase campuran bensin-etanol terhadap tinggi api

Tinggi api dihitung dari titik penyalaaan *droplet* terjadi sampai kembali matinya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Dari Gambar 7. dapat dilihat bahwa E20 menunjukkan tinggi api maksimum yang paling tinggi diantara semua variasi bahan bakar dengan nilai 64,578 mm, sedangkan tinggi api maksimum yang paling rendah pada E100 dengan nilai 16,743 mm. Tinggi nyala api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar, semakin cepat bahan bakar menguap dan berdifusi ke udara maka nyala api yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Pada E100 menunjukkan perubahan tinggi api yang paling stabil karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar etanol yang paling lambat diantara campuran bahan bakar lainnya, sehingga menghasilkan tinggi api maksimum yang paling rendah. Pada E0 dan E10 nilai maksimum tinggi api terjadi setelah awal pembakaran *droplet*, hal ini disebabkan karena kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat. Namun pada E20 dan E30 nilai maksimum tinggi api terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*, hal ini dapat terjadi karena pada awal pembakaran *droplet* beberapa kandungan etanol dalam campuran bahan bakar terbakar lebih dahulu setelah itu kandungan bensin baru terbakar yang dimana memiliki kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar yang cepat sehingga tinggi api maksimum terjadi mendekati akhir pembakaran *droplet*.

3.7 Microexplosion

Microexplosion adalah suatu fenomena ledakan kecil yang terjadi pada pembakaran *droplet* yang terdiri dari dua jenis cairan atau lebih. Hal ini terjadi karena perbedaan temperatur titik didih masing-masing zat penyusun bahan bakar cair. Selain itu terjadinya *microexplosion* bisa diakibatkan oleh homogenitas campuran bahan bakar cair dan adanya kandungan air pada bahan bakar. Ledakan tersebut berpotensi meningkatkan *engine performance* karena merupakan proses atomisasi tingkat dua (*secondary atomization*) [17]. Terjadinya *microexplosion* dalam suatu pembakaran mengakibatkan *droplet* pecah menjadi partikel-partikel kecil yang membantu mempercepat proses penguapan, pencampuran bahan bakar dan udara sehingga reaksi pembakaran akan berlangsung semakin cepat. Pada pembakaran *droplet* campuran bahan bakar bensin-etanol terjadi *microexplosion* pada E0, E10, E20 dan E30.

Gambar 8: Fenomena *microexplosion* yang terjadi pada (a) E10; (b) E20; dan (c) E30

Gambar 9: Grafik pengaruh persentase etanol terhadap jumlah *microexplosion* campuran bensin-etanol

Dari Gambar 9. terlihat bahwa pencampuran etanol dalam bensin menyebabkan sering terjadinya *microexplosion* pada pembakaran *droplet*. Jumlah *microexplosion* yang paling sering terjadi pada E20, hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur titik didih antara bensin dan etanol dalam campuran bahan bakar sehingga menyebabkan pada E20 memiliki konstanta *burning rate* tertinggi dan nyala api yang paling singkat. Pada bahan bakar bensin (E0) terjadi *microexplosion* yang begitu kecil dan tidak sering terjadi, hal ini dapat terjadi karena komposisi penyusun bensin yang terdiri dari campuran hidrokarbon rantai lurus mulai dari C_4 sampai dengan C_{12} masing-masing memiliki temperatur titik didih yang berbeda [18]. Sedangkan pada bahan bakar etanol (E100) tidak terjadi *microexplosion* hal ini disebabkan karena etanol yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* yaitu etanol anhidrat yang memiliki kemurnian sangat tinggi sehingga tidak ada perbedaan temperatur titik didih pada bahan bakar yang berdampak pada rendahnya konstanta *burning rate* dan menghasilkan nyala api yang paling lama diantara semua variasi bahan bakar.

Pada pembakaran *droplet* bensin-etanol terjadi hubungan yang tidak linear antara jumlah terjadinya *microexplosion* terhadap lama nyala api, hal ini bisa diakibatkan karena *droplet* sekunder yang dihasilkan dari terjadinya fenomena *microexplosion* memiliki ukuran yang berbeda-beda. Semakin kecil ukuran *droplet* sekunder yang dihasilkan maka semakin cepat *droplet* mengalami penguapan dan terbakar yang secara signifikan akan mempengaruhi lama nyala api.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *ignition delay time* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase campuran etanol terhadap bensin.
2. Lama nyala api dan konstanta *burning rate* dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar serta kecepatan reaksi terhadap udara (oksigen).
3. Perubahan diameter *droplet* dipengaruhi oleh komponen penyusun bahan bakar yang memiliki perbedaan temperatur titik didih, penguapan dan penyalaan sehingga mengakibatkan *droplet* mengembang dan mengecil selama proses pembakaran *droplet*.
4. Semakin tinggi persentase campuran etanol terhadap bensin maka nilai maksimum temperatur api yang dihasilkan semakin rendah.
5. Tinggi api dipengaruhi oleh kecepatan penguapan dan difusi bahan bakar.
6. Terjadinya fenomena *microexplosion* akibat perbedaan temperatur titik didih komponen penyusun bahan bakar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] U.S EIA (Energy Information Administration)., “International Energy Outlook”, https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php. Diakses: Februari 2019.
- [2] THANGAVELU, S.K., AHMED, A.S., ANI, F.N., “Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, n. 1, pp. 820-835, April 2016.
- [3] ZABED, H., SAHU, J.N., SUELY, A., BOYCE, A.N., FARUQ, G., “Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, n. 1, pp. 475-501, Mei 2017.
- [4] SINGH, P.A., RAMADHAS, R., MATHAI, A., SEHGAL, “Investigation on combustion, performance and emissions of automotive engine fueled with ethanol-blended gasoline”, *SAE Internasional Journal of Fuels and Lubricants*, v. 9, n. 1, pp. 215–223, April 2016.
- [5] IODICE, P., LANGELLA, G., AMORESANO, A., “Ethanol in gasoline fuel blends: effect on fuel consumption and engine out emissions of SI engines in cold operating conditions”, *Science Direct Journal Applied Thermal Engineering*, v. 130, n. 1, pp. 1081–1089, Februari 2018.
- [6] HUANG, Y., HONG, G., “Investigation of the effect of heated ethanol fuel on combustion and emissions of an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+GPI) engine”, *Science Direct Journal Energy Conversion and Management*, v. 123, n. 1, pp. 338–347, September 2016.
- [7] RAO, D.C.K., Syam, S., Karmakar, S., Joarder, R., “Experimental investigations on nucleation, bubble growth, and microexplosion characteristics during the combustion of ethanol/Jet A-1 fuel droplets”, *Science Direct Journal Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 89, n. 1, pp. 284–294, Desember 2017.
- [8] YANG, S.I. dan Wu, M.S., “The droplet Combustion and thermal characteristics of pinewood bio-oil from slow pyrolysis”, *Science Direct Journal Energy*, v. 141, n. 1, pp. 2377–2386, November 2017.
- [9] QIAN, Y., LIU, G., GUO, J., ZHANG, Y., ZHU, L., LU, X., “Engine performance and octane on demand studies of a dual fuel spark ignition engine with ethanol/gasoline surrogates as fuel”, *Science Direct Journal Energy Combustion and Management*, v. 183, n. 1, pp 296-306, Maret 2019.
- [10] YUSUF, A.A. & INAMBAO, F.L., “Bioethanol production from different Matooke peels species: A surprising source for alternative fuel”, *Science Direct Journal Case Studies in Thermal Engineering*, v. 13, n. 1, pp. 1–10, Maret 2019.
- [11] CAPATANO, F., SEMENTA, P., VAGLIOCE, B.M., “Air-fuel mixing and combustion behavior of gasoline-ethanol blends in a GDI wall-guided turbocharged multi-cylinder optical engine”, *Science Direct Journal Renewable Energy*, v. 96, n. 1, pp. 319-332, Oktober 2016.
- [12] SHINGO, J., XIA, J., GANIPPA LC., MEGARITIS, A., “Physics of puffing and micro explosion of emulsion fuel droplets”, In: *Physics of Fluids* 26, 103302-22, AIP Publishing, Oktober 2014.
- [13] SHAHIR, S.A., *et al.*, “Feasibility of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion”, *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 32, n. 1, pp. 379-395, April 2014.
- [14] MISBACHUDIN., YULIATI, L., NOVAREZA, O., “Pengaruh persentase biodiesel minyak nyamplung-solar terhadap karakteristik pembakaran droplet”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 8, n. 1, pp. 9-14, Mei 2017.
- [15] IODICE, P., SENATORE. A., LANGELLA. G., AMORESANO, A., “Effect of ethanol–gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI engines within the cold-start transient: An experimental investigation”, *Science Direct Journal Applied Energy*, v. 179, n. 1, pp. 182-190, Oktober 2016.
- [16] RAJA, A.S., A., ARASU, A.V., SORNAKUMAR, T., “Effect Of Gasoline - Ethanol Blends on Performance and Emission Characteristics Of A Single Cylinder Air Cooled Motor Bike Si Engine”, *Journal of Engineering Science and Technology*, v. 10, n. 12, pp. 1540-1552, Maret 2015.
- [17] BINDAR, Y., “Tinjauan penggunaan air teremulsi dalam minyak bakar sebagai bahan bakar industri dan mesin diesel: Apakah menguntungkan atau merugikan dan apa permasalahan standarisasinya?”, In: *Temu Karya Uji Profisiensi Laboratorium BBM, Pelumas, dan Gas*, Bandung, 21-22 Oktober 2015.
- [18] SARATHY, S.M., KUKKADAPU, G., MEHL, M., WANG, W., JAVED, T., PARK, S., MATTEW, A., OEHLSCHLAEGER., FAROOQ, A., WILLIAM, J.P., SUNG, J., “Ignition of alkane-rich FACE gasoline fuels and their surrogate mixtures”, *Science Direct Proceedings of the Combustion Institute*, v. 35, n. 1, pp. 249-257, Juli 2015.