

PENGARUH CAMPURAN BAHAN BAKAR BIODIESEL WCO - DIESEL TERHADAP KARAKTERISTIK API HASIL PEMBAKARAN SPRAY DIFUSI PADA CONCENTRIC JET BURNER

Sukri

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
Sukri.Istiqomah@gmail.com

Mega Nur Sasongko

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

Teguh Dwi Widodo

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

Biofuels from waste cooking oil (WCO) represent a sizable opportunity not only in terms of energy production but also as a way for sustainable development despite their low yield, higher viscosity, lengthy production time and cost. Alternatively, biodiesel can be blended at an appropriate blending ratio with convention diesel oils. The biodiesel and its blends is proved to give better emission characteristics than conventional diesel oils. This study aims to experimentally investigate the effect of the fuel blend on the combustion characteristics of WCO biodiesel. The characteristic are the droplet size, flame height, flame width and temperature distribution. In this study, the blended fuel are B0 (Solar), B10, B20, B30, B40 and B100 (WCO biodiesel). Measurement and visualization of the combustion flame for each variation of the fuel mixture was were tested at different pressures, namely 4 bar and 5 bar. The experimental results show that the droplet size increases with increasing WCO concentration in the fuel; on the other hand, visualization and calculations show that the height and width of the flame of the fuel mixture decreases. Observation on the temperature distribution shows that the WCO biodiesel mixture has the potential to increase the fire temperature at certain points

Keywords: Biodiesel, WCO, Diffusion Flame.

1. PENDAHULUAN

Selain masalah lingkungan, terdapat isu kritis lain seperti tingginya konsumsi dan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis [1]. Penggunaan biodiesel merupakan solusi menjanjikan yang dapat mengurangi emisi pembakaran yang beracun dan dapat sepenuhnya atau setidaknya sebagian sebagai pengganti bahan bakar fosil [2]. Biodiesel bersifat terbarukan karena siklus hidupnya yang tertutup, biodegradabilitas karena bersumber dari bahan organik, tidak beracun karena emisi karbon monoksida yang sangat rendah, bahan bersifat partikulat, hidrokarbon tidak terbakar, sulfur oksida, dan senyawa organik yang mudah menguap, dan fitur keselamatan karena titik abu yang lebih tinggi dari biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar fosil membuatnya lebih menguntungkan dalam substitusi bahan bakar fosil [3]. Biodiesel adalah bahan bakar cair sintetis yang dapat diproduksi dari minyak nabati nabati, lemak hewani, dan minyak goreng bekas (WCO) [4]. Biodiesel yang dihasilkan dari WCO merupakan cara sinergis yang efektif untuk membuang dan mengubah limbah menjadi energi dengan manfaat ekonomi dan lingkungan [5]. Umumnya, viskositas tinggi, volatilitas rendah, dan berat molekul minyak nabati mentah yang tinggi mencegah penggunaannya langsung dalam sistem pembakaran [6]. Dalam hal ini, penting untuk mengubah minyak mentah menjadi biodiesel dengan melakukan proses pirolisis, emulsi, atau transmisi [7].

Penggunaan minyak nabati dan/atau campurannya dengan solar dalam pembakar industri telah menarik perhatian karena sifat fisik dan kimia minyak nabati yang mirip dengan solar [8]. Minyak goreng

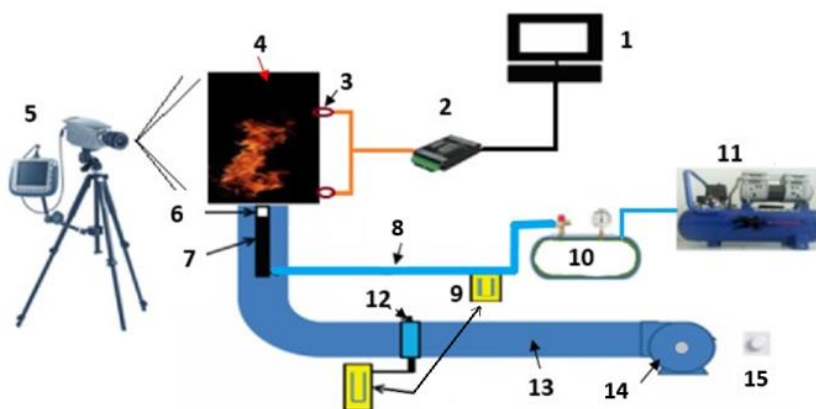
bekas (WCO) dan campuran solar juga dapat digunakan sebagai bahan bakar energi terbarukan untuk mesin diesel dan pembakar di pembangkit listrik dan boiler [9]. Biodiesel dan campurannya memiliki karakteristik emisi yang lebih baik daripada bahan bakar konvensional [10]. Namun, Konversi minyak nabati memakan biaya tinggi, memakan waktu dengan hasil rendah. Selain itu, penggunaan WCO secara langsung melalui proses pembakaran atau campurannya akan menurunkan konsumsi bahan bakar fosil, mengurangi dampak lingkungannya, menciptakan lapangan kerja baru dan melindungi umat manusia dari penyakit seperti malaria, kolera, tifus, penyumbatan pipa air dan air beracun [11].

Api difusi telah menjadi cabang penting dari penelitian api selama beberapa dekade, karena prevalensi kebakaran alami serta hubungan yang luas dengan aplikasi rumah tangga dan industri [12]. Api difusi, atau api non-campuran, biasanya terjadi di mana bahan bakar dan pengoksidasi awalnya dipisahkan [13]. Mekanisme transportasi yang membawa reaktan didominasi oleh difusi molekul di sekitar zona reaksi nyala dan juga dipengaruhi oleh konveksi aliran latar yang berpasangan dengan nyala api [14]. Dengan mengasumsikan bahwa reaksi terjadi jauh lebih cepat dibandingkan dengan transportasi reaktan, zona nyala dapat dianggap terbatas pada lembaran tipis, dinamakan lembaran api, yang memunculkan pengembangan model analitik klasik seperti pendekatan stoikiometri [15].

Studi terhadap pengaruh variasi lip thickness pada nozzle terpancing terhadap karakteristik api pembakaran difusi concentric jet flow meneliti tentang pendistribusian temperature dan kestabilan nyala api. Penelitian ini menggunakan variasi nozzle sebagai variabelnya. Pada hasil penelitian tersebut, semakin berkurangnya besar lip thickness nozzle terpancing menunjukkan bahwa kestabilan dan temperature nyala api difusi concentric jet flow semakin meningkat [16]. Selanjutnya penelitian tentang pengaruh prosentase campuran minyak jelantah terhadap biodiesel menunjukkan bahwa hasil tinggi api dari pembakaran droplet biodiesel B0 sampai dengan B100 adalah cenderung meningkat. Sedangkan untuk lebar api terlihat tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan [17]. Penelitian mengenai pengaruh dari pemodelan breakup primer pada karakteristik semprotan dan pembakaran kompresi Mesin pengapian menggunakan tekanan injektor sebesar 400 bar, temperatur ruang sebesar 700 K, dan temperatur bahan bakar sebesar 400 K. Hasilnya menunjukkan bahwa kenaikan densitas udara sekitar, maka breakup dari bahan bakar akan semakin pendek. Hal ini terjadi karena padatnya udara sekitar, sehingga pada saat keluar dari nosel, bahan bakar tak mampu menahan kohesinya sehingga bahan bakar tersebut terpecah dan menjadi partikel-partikel kecil yang disebut droplet [18]. Berdasarkan penelitian sebelumnya sangat sedikit yang meneliti tentang karakteristik pembakaran *spray* difusi campuran bahan bakar biodiesel WCO dan *diesel*(solar).

2. METODE DAN BAHAN

Untuk memudahkan dalam penelitian, maka dibuatlah skema instalasi penelitian seperti gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1: Skema instalasi penelitian

Keterangan :

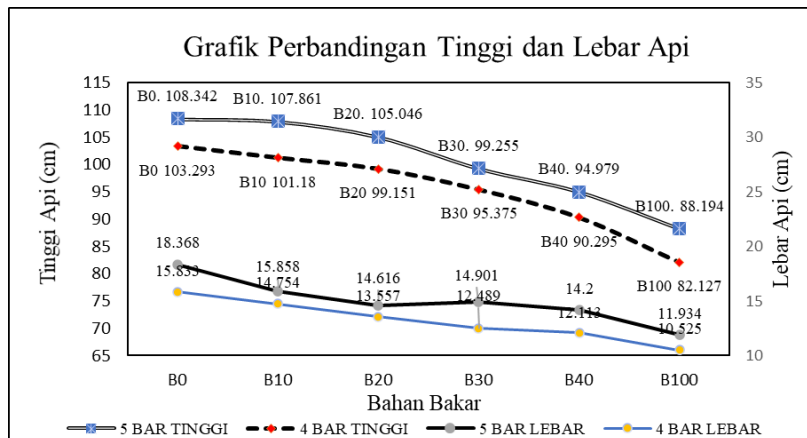
- | | | | |
|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1. Laptop | 5. Kamera DSLR | 9. Mekanisme Mano Meter | 13. Saluran Udara |
| 2. Data Logger | 6. Nozzle | 10. Tangki Bahan Bakar | 14. Blower Fan |
| 3. Termokopel tipe K | 7. Saluran Bahan Bakar | 11. Kompresor | 15. AC Dimer |
| 4. Ruang Hitam | 8. Selang Bahan Bakar | 12. Orifice | |

Pada penelitian ini, difokuskan pada campuran bahan bakar yakni B0 (solar), B10, B20, B30, B40 dan

B100 (biodiesel) dengan memberikan tekanan sebesar 4 bar dan 5 bar terhadap karakteristik api yakni visualisasi api meliputi tinggi api dan lebar api, ukuran droplet serta temperatur api hasil pembakaran. Secara garis besar, bahan bakar yang tersimpan dalam tanki akan dialirkan dengan mengandalkan tekanan yang berasal dari kompresor, setelah mendapatkan tekanan yang cukup untuk mengalirkan bahan bakar, kemudian aliran bahan bakar akan dibuka secara penuh oleh katup pengatur. Pembakaran ini terjadi secara difusi yang berarti bahan bakar bercampur dengan udara pada saat kondisi 1 atm atau setelah bahan bakar keluar melalui nosel. Dalam penelitian ini keadaan udara sekitar berada pada tekanan 1 atm serta bertemperatur ruang. Prosedur persiapan yang dilaksanakan sebelum pengambilan data adalah merakit seluruh perangkat menjadi sebuah kesatuan alat, lalu memastikan bahwa semuanya terpasang dengan benar dan sesuai dengan skema awal yang telah dibuat. Lalu menyiapkan bahan bakar yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu bahan bakar campuran B0 (solar), B10, B20, B30, B40 dan B100 (biodiesel) hasil transesterifikasi minyak jelantah. Kemudian masukkan bahan bakar yang akan diteliti ke dalam tanki bahan bakar yang tekanannya diberikan sebesar 4 bar serta 5 bar dan pastikan tutup tanki kembali dengan rapat. Peneliti akan menempatkan termokopel sejajar dengan garis vertikal nosel. Termokopel diberikan interval jarak sebesar 20 cm yang merupakan titik awal yang ditarik sejajar dengan pusat nosel. Untuk pengolahan data menggunakan data logger, selanjutnya foto dari masing-masing pengambilan data untuk masing-masing sampel. Pada visualisasi api, sampel yang sudah ambil dari foto akan diubah menjadi gambar lalu dianalisa lewat software ImageJ yang akan menghasilkan data berupa tinggi api dan lebar api. Lalu kita melakukan pengulangan seperti proses pada pengujian visualisasi api. Pada pengambilan data ukuran droplet, variasi campuran bahan bakar yang digunakan hanya B0, B40 dan B100, proses pengambilan data ukuran droplet sama seperti pengambilan data visualisasi api dan juga distribusi temperatur, hanya saja tidak di ignite dan posisi kamera dari ruang hitam sejauh +/- 20cm. Seluruh variasi campuran akan diambil gambar sebanyak +/- 10-20 sample gambar yang akan diolah. Selanjutnya pada pengambilan data distribusi temperatur, termokopel di tanam setinggi 20, 40 dan 60 cm dari nozzle. Termokopel dalam posisi sudah berkoneksi dengan data logger dan juga laptop.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengaruh Campuran Bahan Bakar Terhadap Tinggi Api Dan Lebar Api Hasil Pembakaran Spray



Gambar 2: Perbandingan tinggi dan lebar api dengan campuran bahan bakar

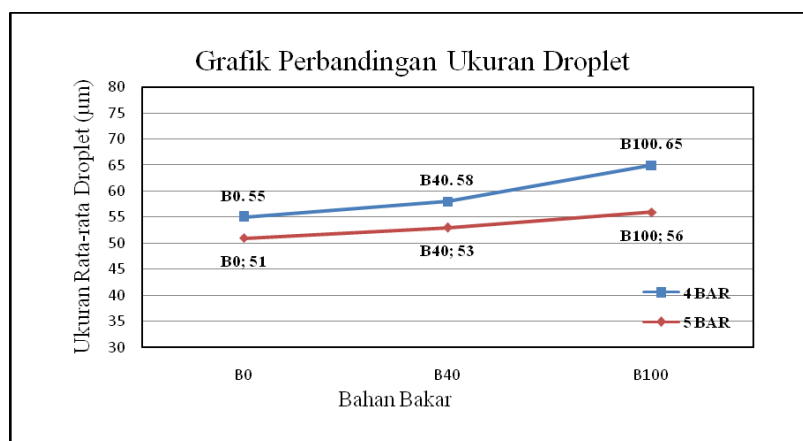
Gambar 2 merupakan hasil uji perbandingan tinggi dan lebar api dari pembakaran spray solar dan biodiesel. Gambar tersebut menunjukkan grafik perbandingan visualisasi api dari tekanan bahan bakar 4 dan 5 bar berdasarkan variasi bahan bakar seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya campuran bahan bakar yang digunakan B0 (Solar), B10, B20, B30, B40 dan B100 (Biodiesel).

Dapat dilihat ketinggian api mengalami penurunan baik pada tekanan 4 bar maupun 5 bar dengan bertambahnya campuran biodiesel pada bahan bakar solar. Didapatkan pula nilai dari ketinggian api difusi tersebut dari variasi campuran bahan bakar secara urut sebagai berikut, tekanan 4 bar; 103.293, 101.18, 99.151, 95.375, 90.295 dan 82.127 lalu untuk tekanan 5 bar; 108.342, 107.861, 105.046, 99.255, 94.979 dan 88.194. lebar masing-masing api yaitu untuk tekanan 4 bar; 15.833, 14.753, 13.557, 12.489, 12.113, 10.525 dan untuk bahan bakar tekanan 5 bar; 18.368, 15.858, 14.616, 14.901, 14.2 dan 11.934 dan masing-masing data dinyatakan pula dalam cm.

Jika memperhatikan grafik diatas dapat dilihat bahwa ketinggian api difusi mengalami penurunan seiring dengan penambahan campuran biodiesel terhadap solar pada tekanan 4 bar dan 5 bar. Hal tersebut sesuai dengan dasaran teori, dimana viskositas biodiesel memiliki nilai diatas 5 cSt sedangkan solar hanya 2-4.5 cSt (Pertamina), dimana jika viskositas semakin kental membuat bahan bakar akan susah di atomisasi yang akan menyebabkan butiran droplet akan semakin besar dimana luasan droplet akan semakin kecil [19]. Luasan droplet mempengaruhi kualitas pembakaran, ketika luasan droplet besar, luas bidang kontak dengan udara sekitar semakin besar dan pembakaran yang terjadi semakin mudah. Dan tinggi api pun semakin meningkat diiringi dengan pembakaran yang semakin besar. Dengan perbandingan bahan bakar B0, B10, B20, B30, B40 dan B100, sesuai dengan grafik bahwa tinggi api yang dihasilkan solar lebih besar dibandingkan dengan biodiesel. Ini juga diperkuat dalam studi [20] yang menyatakan bahwa tren peningkatan flame length utamanya disebabkan oleh peningkatan difusi aksial bahan bakar. Selain itu, dibutuhkan banyak udara ambien yang perlu digunakan untuk mencapai proporsi stoikiometrik.

Melihat dari grafik di atas bahwa semakin besar campuran biodiesel terhadap solar akan memiliki kecenderungan untuk menurun. Ini disebabkan ketika semakin besar campuran biodiesel dalam solar, maka akan semakin kecil sudut yang terbentuk pada atomisasi bahan bakar dikarenakan viskositas akan terus meningkat seiring dengan penambahan biodiesel. Dimana akan memperbesar butiran droplet. Dengan perbandingan tekanan 4 bar dan 5 bar sesuai hasil grafik bahwa lebar api terbesar adalah tekanan 5 bar pada bahan bakar solar, disebabkan karenan flash point solar lebih rendah dibandingkan biodiesel sehingga atomisasi yang terbentuk lebih mudah dibakar. Gagasan ini juga diperkuat bahwa menurut [20], bahwa bahan bakar mengalir disepanjang sumbu api dan berdifusi secara radial ke arah luar, sementara udara berdifusi ke arah dalam. Semakin besar tekanan bahan bakar memperbesar posisi sudut dan dengan demikian api yang dihasilkan semakin lebar.

3.2 Pengaruh Campuran Bahan Bakar Terhadap Ukuran Droplet Hasil Semburan Bahan Bakar

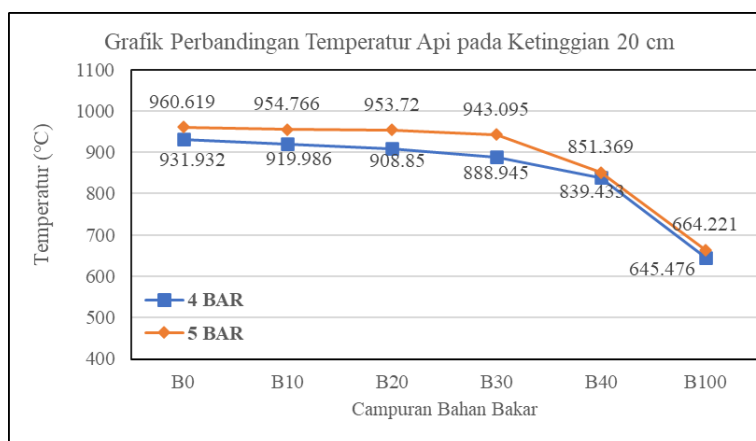


Gambar 3: Perbandingan ukuran droplet dengan campuran bahan bakar

Ukuran rata-rata droplet pada Gambar 3 dibandingkan dengan variasi campuran bahan bakar B0 (Solar), campuran B40 dan B100 (Biodiesel) kemudian dibandingkan pula dengan tekanan bahan bakar 4 bar dan 5 bar. Sehingga didapatkan angka ukuran rata rata untuk tekanan bahan bakar 4 bar yaitu: 55, 58 dan 65, dan nilai rata-rata untuk tekanan 5 bar yaitu: 51, 53 dan 56 yang kesemua data dalam satuan µm.

Dengan demikian dapat dilihat dari grafik memiliki kecenderungan meningkat, pada setiap datanya dengan masing-masing variasi yang diberikan juga memiliki kecenderungan meningkat hal ini disebabkan karena semakin tinggi tekanan yang diberikan kepada ketiga variasi bahan bakar, maka ukuran droplet akan semakin mengecil. Menurut Wibawa et al (2015) 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 ukuran droplet yang dihasilkan akan lebih besar ukurannya.

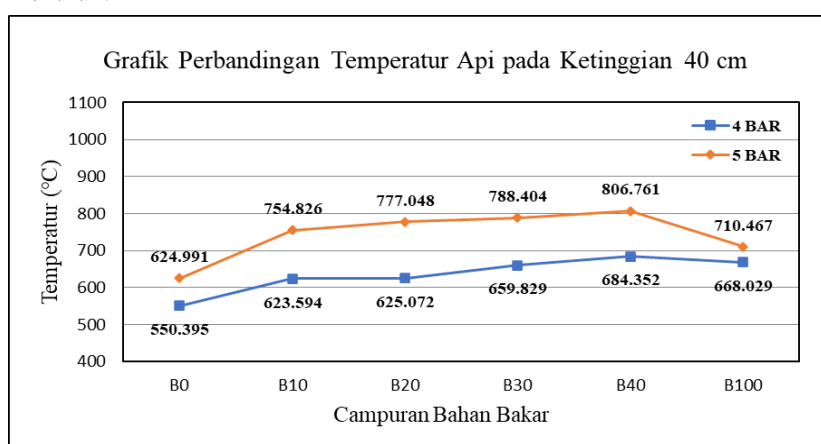
3.3 Pengaruh Campuran Bahan Bakar Terhadap Temperatur Api Hasil Pembakaran



Gambar 4: Perbandingan distribusi temperatur pada ketinggian 20 cm dengan campuran bahan bakar

Gambar 4 menampilkan grafik pengaruh campuran bahan bakar terhadap distribusi temperatur termokopel pada posisi 20 cm di atas ujung nosel dengan tekanan 4 bar; 931.932 °C, 919.986 °C, 908.85 °C, 888.945 °C, 839.433 °C dan 645.476 °C dan pada tekanan 5 bar; 960.619 °C, 954.766 °C, 953.72 °C, 943.095 °C, 851.369 °C dan 664.221 °C. Seperti yang kita lihat pada grafik temperatur pada ketinggian 20 cm dengan tekanan 4 bar memiliki kecenderungan menurun, dikarenakan terus meningkatnya campuran biodiesel yang diberikan membuat kekentalan bahan bakar akan terus meningkat, dimana ukuran droplet akan terus meningkat yang dapat membuat titik droplet breakup semakin tinggi yang membuat droplet tidak terbakar sempurna pada ketinggian 20 cm.

Selanjutnya terlihat pada tekanan 5 bar menunjukkan grafik temperatur lebih tinggi dari tekanan 4 bar, hal ini diakibatkan pada kenaikan tekanan membuat ukuran droplet lebih halus dan dapat mengikat oksidator lebih mudah, sehingga setiap droplet yang teratomisasi akan lebih mudah terbakar atau terbakar sempurna. Peningkatan temperatur ditekanan yang lebih tinggi dikarenakan droplet breakup yang dihasilkan karena meningkatnya tekanan bahan bakar mengakibatkan titik pembakaran semakin sempurna pada ketinggian 20 cm. Pembakaran difusi spray biodiesel sangat dipengaruhi oleh ukuran droplet, ukuran droplet yang besar membuat bahan bakar biodiesel tidak bisa terbakar sempurna karena memiliki flash point yang relatif lebih tinggi dari solar murni, penurunan temperatur seiring bertambahnya campuran juga bisa disebabkan karena nilai kalor biodiesel yang lebih rendah dari solar, dimana setiap penambahan kadar biodiesel membuat nilai kalor campuran menurun.

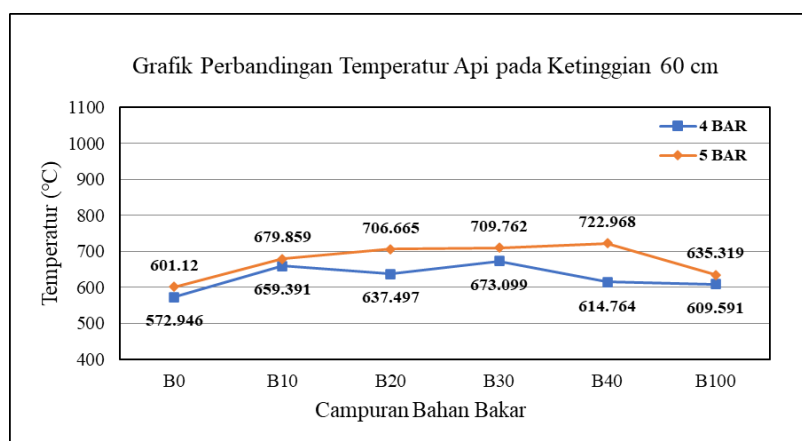


Gambar 5: Perbandingan distribusi temperatur pada ketinggian 40 cm dengan campuran bahan bakar

Gambar 5 juga menampilkan grafik pengaruh campuran bahan bakar terhadap distribusi temperatur termokopel pada posisi 40 cm di atas ujung nosel pada tekanan 4 bar didapatkan; 550.395 °C, 623.594 °C, 625.072 °C, 659.829 °C, 684.352 °C dan 668.029 °C dan pada tekanan 5 bar didapatkan; 624.991 °C, 754.826 °C, 777.048 °C, 788.404 °C, 806.761 °C dan 710.467 °C. Dilihat pada tekanan 4 bar ada kecenderungan meningkat karena pada ketinggian 40 cm butiran droplet pada campuran tertentu baru mulai terbakar sempurna, dikarenakan naiknya viskositas maupun naiknya titik droplet breakup tetap dapat dilihat

pada temperatur B100 memiliki temperatur yang lebih rendah karena setiap penambahan persentase minyak jelantah mengakibatkan menurunnya nilai kalor bahan bakar, menurunnya nilai kalor bahan bakar yang dihasilkan akan menurunkan temperatur maksimal yang didapat bahan bakar.

Begitu pula pada tekanan 5 bar ada kecenderungan grafik temperatur meningkat kemudian menurun pada B100, dikarenakan pada campuran B0 sampai B40 dalam ketinggian 40 cm terbakar sempurna, karena meningkatnya viskositas membuat titik droplet breakup semakin meningkat lalu pada campuran B40 terbakar sempurna pada ketinggian 40 cm. Pada ketinggian 40 cm, temperatur terus meningkat sampai akhirnya turun pada campuran B100 dikarenakan pada ketinggian 40 cm droplet mulai terbakar sempurna seiring dengan penambahan persentase minyak jelantah pada solar, karena dengan menambahnya campuran biodiesel pada solar mengakibatkan kekentalan yang juga ikut meningkat, maka perpecahan droplet akan terus meningkat menjauhi nozzle, penurunan temperatur pada B100 bisa disebabkan oleh meningkatnya flash point dan ukuran droplet yang semakin meningkat. Meningkatnya flash point mengakibatkan droplet tidak terbakar sempurna karena ukuran droplet yang terbentuk juga semakin besar.



Gambar 6: Perbandingan distribusi temperatur pada ketinggian 60 cm dengan campuran bahan bakar

Gambar 6 juga menampilkan grafik pengaruh campuran bahan bakar terhadap distribusi temperatur termokopel pada posisi 60 cm di atas ujung nosel pada tekanan 4 bar didapatkan; 572.946 °C, 659.391 °C, 637.497 °C, 673.099 °C, 614.764 °C dan 609.591 °C dan pada tekanan 5 bar didapatkan data; 601.12 °C, 679.859 °C, 706.665 °C, 709.762 °C, 722.968 °C dan 635.319 °C. Pada tekanan 4 bar cenderung meningkat tetapi pada titik tertentu memiliki kecenderungan untuk menurun, termokopel berada pada ketinggian 60 cm, dimana pada ketinggian tersebut droplet sebagian sudah terbakar namun karena seiring bertambahnya campuran biodiesel membuat viskositas terus meningkat yang membuat ukuran droplet yang besar tidak terbakar karena pada biodiesel murni memiliki flash point 31 yang tinggi.

Begitu pula pada tekanan 5 bar grafik cenderung meningkat lalu menurun pada titik B100 sama seperti pada ketinggian 40 cm, yang membedakan pembakaran pada ketinggian 60 cm droplet tidak semuanya terbakar pada ketinggian 60 cm, tetapi terbakar sempurna pada 40 cm. Kekentalan bahan bakar juga berpengaruh pada ketinggian 60 cm, membuat bahan bakar terbakar sempurna pada ketinggian 40 cm

Tentunya kita ketahui bahwa temperatur yang dihasilkan pada ketinggian tertentu sangat dipengaruhi oleh viskositas, flash point, nilai kalor dan titik droplet breakup. Seiring bertambahnya biodiesel dalam campuran bahan bakar membuat kekentalan bertambah, menjadikan titik droplet breakup selalu bergeser menjauhi nozzle. Dengan bertambahnya kandungan biodiesel juga membuat nilai kalor selalu berkurang, yang dapat menurunkan temperatur hasil pembakaran dan terus menaikkan flash point bahan bakar. Flash point bahan bakar dapat mempengaruhi titik nyala pada butiran droplet, jika droplet yang dihasilkan terlalu besar dapat membuat pembakaran yang dihasilkan tidak sepenuhnya terbakar. Nilai viskositas berpengaruh pada kemampuan atomisasi bahan bakar tersebut. Viskositas campuran biodiesel semakin tinggi dengan bertambahnya persentase biodiesel, begitu juga terhadap nilai kalor dan flash point bahan bakar tersebut [21].

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa pada tinggi api pembakaran dipengaruhi oleh tekanan bahan bakar. Pada grafik perbandingan tinggi api dengan tekanan bahan bakar terlihat garis trend cenderung meningkat. Hal ini disebabkan tekanan bahan bakar akan mempengaruhi laju alir fluida yang akan menyebabkan kecepatan alir fluida dan droplet yang dihasilkan semakin banyak serta luasannya yang lebih besar yang mengakibatkan

bidang kontak antara semburan dengan udara sekitar lebih besar sehingga api yang dihasilkan akan lebih tinggi. Sedangkan pada lebar api pembakaran trend yang dihasilkan di grafik perbandingan lebar api dengan tekanan bahan bakar menunjukkan seiring meningkatnya tekanan bahan bakar akan diiringi dengan melebarnya api yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh ukuran droplet yang dihasilkan pada tekanan lebih tinggi akan menghasilkan ukuran yang lebih kecil, sehingga droplet tak mampu mempertahankan momentumnya untuk bergerak lurus searah dengan nosel, maka droplet akan bergerak menyamping dan membentuk sudut yang lebih besar lalu berdampak pada lebar api yang dihasilkan pada saat pembakaran. Lalu pada temperatur api yang dihasilkan ketika pembakaran dipengaruhi oleh tekanan bahan bakar. Pada termokopel ketinggian 20 cm temperatur yang dihasilkan oleh masing bahan bakar menunjukkan kecenderungan yang berbeda, dimana pada bahan bakar solar garis trend menunjukkan kecenderungan meningkat, sedangkan pada garis trend bahan bakar biodiesel menunjukkan kecenderungan menurun. Hal ini terjadi akibat pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah memiliki viskositas yang lebih tinggi sehingga primary breakup yang terjadi lebih panjang dibandingkan dengan bahan bakar solar. Bahan bakar solar baru menunjukkan adanya pengaruh dari tekanan terhadap primary breakup pada titik 5 bar dengan indikasi temperatur yang menurun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] EMARA, K., MAHFOUZ, A., MONEIB, H.A., EL-FATIH, A., EMARA, A., “Flame spectroscopy of waste tire oils and waste cooking oils blends using coaxial burner,” *J. Energy Inst.*, vol. 93, no. 3, pp. 977–990, 2020.
- [2] LIU, H., ZHU, J., HU, Q., RAO, X. “*Morganella morganii*, a non-negligent opportunistic pathogen,” *Int. J. Infect. Dis.*, vol. 50, pp. 10–17, 2016.
- [3] MKHIZE, N. M., VAN D, DANON, B., GÖRGENS, J. F. “Effect of temperature and heating rate on limonene production from waste tyre pyrolysis,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 120, pp. 314–320, 2016.
- [4] MOBARAKI, N, AMIGO, J. M., “HYPER-Tools. A graphical user-friendly interface for hyperspectral image analysis,” *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 172, pp. 174–187, 2018.
- [5] PRIEUR, K., DUROX, D, SCHULLER, T. CANDEL, S., “A hysteresis phenomenon leading to spinning or standing azimuthal instabilities in an annular combustor,” *Combust. Flame*, vol. 175, pp. 283–291, 2017.
- [6] SENG-EIAD, S., JITKARNKA, S., “Untreated and HNO₃-treated pyrolysis char as catalysts for pyrolysis of waste tire: In-depth analysis of tire-derived products and char characterization,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 122, pp. 151–159, 2016.
- [7] ABOELAZAYEM, O., EL-GENDY, N.S., ABDEL-REHIM, A. A., ASHOUR, F., SADEK, M. A. “Biodiesel production from castor oil in Egypt: Process optimisation, kinetic study, diesel engine performance and exhaust emissions analysis,” *Energy*, vol. 157, pp. 843–852, 2018.
- [8] SENTHUR, P.S., ASOKAN, M. A., ROY, R., FRANCIS, S., SREELEKH, M.K. “Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel/diesel blends with additives,” *Energy*, vol. 122, no. January 2018, pp. 638–648, 2017.
- [9] MAHFOUZ, A. “Effect of Waste Cooking - Diesel Oils Blends on Performance, Emissions and Combustion Characteristics of Industrial Oil Burner,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. V, no. IX, pp. 1264–1274, 2017.
- [10] MAHFOUZ, A., MONEIB, H. A., EL-FATIH, A., EL-SHERIF, A. F., AYOUB, H. S., EMARA, A. “Comparative study among waste cooking oil blends flame spectroscopy as an alternative fuel through using an industrial burner,” *Renew. Energy*, vol. 159, pp. 893–907, 2020.
- [11] ATTIA, A. M. A., BELAL, B. Y., EL-BATSH, H. M., MONEIB, H. A. “Effect of waste cooking oil methyl ester – Jet A-1 fuel blends on emissions and combustion characteristics of a swirl-stabilized lean pre-vaporized premixed flame,” *Fuel*, vol. 267, no. October 2019.
- [12] DENG, S., ZHAO, P., MUELLER, M. E., LAW, C. K. “Flame dynamics in oscillating flows under autoignitive conditions,” *Combust. Flame*, vol. 168, pp. 75–82, 2016.
- [13] LIU, C., HUANG, L., DENG, T., JIANG, H., WU, P., LIU, P., DENG, J., LUO, Z., “Influence of bottom wall on characteristics of jet diffusion flames under cross-wind,” *Fuel*, vol. 288, no. November, p. 119661, 2021.
- [14] SAKTHIVEL, R., RAMESH, K., PURNACHANDRAN, R., MOHAMED S. “A review on the

- properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. 5, pp. 2970–2992, 2018.
- [15] ZHANG, H., XIA, X., GAO, Y., “Instability transition of a jet diffusion flame in quiescent environment,” *Proc. Combust. Inst.*, vol. 000, pp. 1–8, 2020.
- [16] FAIZAL, E., WIDODO, S. A., SASONGKO, M. N. “Pengaruh Variasi Lip Thickness pada Nozzle Terpancung terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi Concentric Jet Flow”. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 7(2):13-20., 2016.
- [17] SASONGKO, M. N. “Pengaruh Prosentase Minyak Goreng Bekas terhadap Karakteristik pembakaran droplet biodiesel”. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 4(2):8-13. 2018.
- [18] SOM, S., AGGARWALS. K. “Effects of Primary Breakup Modeling on Spray and Combustion Characteristics of Compression Ignition Engines”. *Combustion and Flame*.157(6):1179-1193. 2010.
- [19] WIRAWAN, I. K. G., GHURRI, A., SEPTIADI, W. N. “Distribusi Ukuran Droplet Bahan Bakar Minyak Jelantah Sepanjang Region Semburan Nosel Sederhana”, *Jurnal Mechanical*. 9(1):16-21, 2018.
- [20] WAHYUDI, W., SARIP, S., SUDARJA, S., SUHATNO, H. “Unjuk Kerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Campuran Biodiesel Jarak dan Biodiesel Jelantah,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 3, no. 1, pp. 36–41, 2019.
- [21] XI, Z., FU, Z., HU, X., SABIR, S. W., JIANG, Y., “An investigation on flame shape and size for a high-pressure turbulent non-premixed swirl combustion,” *Energies*, vol. 11, no. 4, pp. 1–20, 2018.