

ANALISA VARIASI DIAMETER LUBANG *NOZZLE* TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY* MINYAK KELAPA DENGAN MINYAK KAPUK (B50) PADA PEMBAKARAN DIFUSI

Wigo Ardi W

Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Maarif Hasyim Latif, Sidoarjo, Indonesia
e-mail : wigoardi13@gmail.com

ABSTRAK

Minyak bumi sebagai sumber utama bahan bakar mengakibatkan cadangan minyak bumi menurun. Perlu adanya upaya untuk mengganti minyak bumi dengan bahan bakar lain didapat dari tanaman atau hewan. Tanaman penghasil minyak nabati salah adalah minyak kelapa dan kapuk. Untuk mendapatkan pembakaran sempurna, perlu dilakukan penelitian menggunakan metode pembakaran *spray*/difusi dengan menggunakan variasi diameter *nozzle* 0,2 mm, 0,4 mm dan 0,6 mm dengan bentuk *spray solid cone* dan tekanan yang konstan 50 bar. Bahan bakar yang digunakan campuran antara minyak kelapa dengan minyak kapuk (B50). Diameter *droplet* yang dihasilkan semalın besar berbanding lurus dengan diameter *nozzel* yang semakin besar. Bertambahnya panjang nyala api dipengaruhi oleh meningkatnya diameter *nozzle*. Semakin meningkatnya sudut *spray* seiring dengan semakin besarnya diameter *nozzle*. Dengan variasi penyalaan awal, *flashback* hanya terjadi pada jarak penyalaan awal 500 mm. Terjadi perbedaan turbulensi pada variasi *nozzle*, semakin besar diameter *nozzle* maka semakin besar turbulensi nyala api yang terjadi.

Kata kunci: diameter *droplet*, *flashback*, *nozzle*, minyak nabati (*blending* 50), pembakaran *spray*

PENDAHULUAN

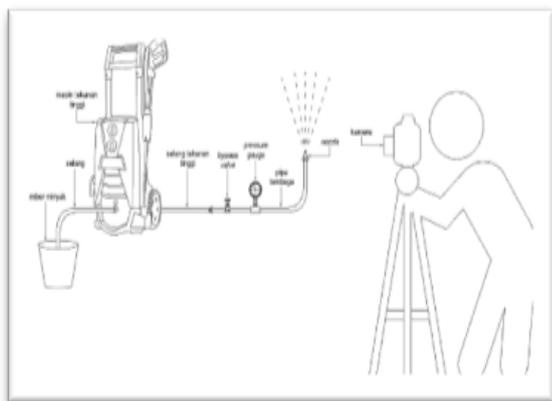
Minyak bumi sebagai sumber utama bahan bakar mengakibatkan cadangan minyak bumi mengalami penurunan cukup drastis. Maka perlu upaya untuk mengganti dengan minyak nabati yang dapat diperbaharui untuk mengganti atau paling tidak menghemat minyak bumi (Denitasari, 2011). Bahan bakar baru yang dapat adalah minyak nabati. Tanaman yang tumbuh di Indonesia dan dapat menghasilkan minyak nabati salah satunya kelapa dan kapuk. Namun B50 minyak nabati yang dihasilkan dari buah kelapa dan biji kapuk memiliki viskositas, densitas, tegangan permukaan dan titik nyala lebih tinggi jika dibandingkan minyak bumi. Sifat – sifat tersebut dapat mengakibatkan proses deformasi minyak nabati akan menjadi lebih sulit. Pada proses atomisasi bahan bakar salah satunya dipengaruhi oleh tekanan, bentuk *nozzle* dan diameter *nozzle*. Karakteristik *spray* seperti sudut *spray*, kecepatan *spray* dan *droplet* yang didistribusikan, dapat ditentukan menggunakan diameter *nozzle* dan tekanan pada proses atomisasi. *Droplet* yang didistribusikan dikatakan sempurna jika memiliki ukuran kecil dan halus. Karakteristik *droplet* ini memiliki efek signifikan terhadap pembakaran *spray*, diameter *droplet* berkaitan dengan energi dari pembakaran tersebut, baik berupa cahaya, temperatur, radiasi dan emisi. Semakin kecil *droplet* hasil proses atomisasi maka energi yang semakin besar dihasilkan pada saat pembakaran berlangsung. Hal

ini disebabkan butiran *droplet* dapat terbakar secara sempurna (Udin, Yuliati, & Novareza, 2017). Penelitian tentang karakteristik *spray* minyak jarak pernah dilakukan oleh (Sudarmanta, 2017) dimana *density* yang tinggi menghasilkan penetrasi dan *droplet* fase cair bertambah, sedangkan distribusi fase gas lebih sempit. Begitu juga kecepatan terbentuknya semprotan cenderung melambat seiring dengan bertambahnya viskositas (Pinto, 2015). Tekanan berpengaruh pada karakteristik *spray* yang terjadi. Penelitian tentang variasi tekanan pernah dilakukan (Juniarta, Wirawan, & Ghurri, 2017) Terjadi peningkatan sudut *spray* pada saat tekanan dinaikkan. Sedangkan distribusi besar *droplet* yang terbentuk pada masing – masing variasi tekanan mengalami peningkatan baik dari kecepatan *spray*, sudut *spray* (Wibawa, Bagus, Kusuma, & Nyoman, 2015) dan ukuran *droplet* semakin kecil (Wirawan, Wardana, Soenoko, & Wahyudi, 2014). Untuk mengetahui diameter *droplet* B50 minyak kelapa dan biji kapuk yang dapat terbakar sempurna maka pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan variasi diameter lubang *nozzle*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini data yang dihasilkan berupa video. Pengambilan data dan visualisasi sudut *spray*, Panjang nyala api, *flashback*, dan turbulensi nyala api pada saat penelitian, menggunakan variasi diameter

lubang *nozzle* 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm dengan model *spray solid cone* dan dengan tekanan konstan yaitu 50 bar. Untuk mendapatkan data sudut *spray*, Panjang nyala api, *flashback*, dan turbulensi nyala api dengan menggunakan kamera Canon 1100 D dan. Untuk menentukan sudut *spray*, Panjang nyala api, *flashback*, dan turbulensi nyala api maka data pengujian kemudian diolah dengan menggunakan aplikasi *Free Video to JPG Converter*, kemudian skala dirubah mengikuti skala aslinya menggunakan aplikasi *Image J*, dan untuk mengetahui sudut *spray*, Panjang nyala api, *flashback*, dan nyala api turbulen ditentukan dengan *Corel Draw*.



Gambar 1 Skema alat uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian

Berikut adalah Analisa dari hasil pengujian *spray* dengan menggunakan campuran bahan bakar minyak kelapa dengan minyak kapuk (B50). Data yang di ambil pada pengujian *spray* tersebut meliputi sudut *spray*, panjang nyala api, dimensi *droplet* dan *flashback* nyala api pada beberapa posisi dengan lubang *nozzle* yang difariasian.

Data alat uji

Untuk mengetahui data secara teoritis maka diperlukan data data sebagai berikut:

Diameter lubang *nozzle* : 0,2mm;0,4mm;0,6mm

Tekanan pada *nozzle* : 50 bar

Data bahan bakar

Data bahan bakar diperlukan untuk mengetahui sudut, diameter *droplet*, kecepatan injeksi, debit dan waktu yang dibutuhkan *droplet* mencapai jangkauan paling jauh. Berikut merupakan data bahan bakar minyak *blending* (B50) kelapa dan kapuk :

1. Densitas : 955 kg/m³
2. Viskositas kinematic : 50,55 mm²/s
3. Tegangan permukaan : 32 Ns/m

Data perhitungan penelitian

Kecepatan injeksi bahan bakar

kecepatan semprotan bahan bakar dapat diperkirakan secara teoritis menggunakan rumus persamaan sebagai berikut(Liguang, 2007).

$$v_i = C_d \sqrt{\frac{2 \Delta p_i}{\rho_l}} = 65,49 \text{ m/s} \quad (1)$$

Karena kecepatan semprotan awal bahan bakar sudah diketahui secara teoritis maka untuk mengetahui kecepatan semprotan bahan bakar rata-rata dapat ditentukan menggunakan rumus berikut.

$$v_{\text{mean}} = \frac{\dot{m}_i}{\rho_l A_{\text{hole}}} = 65,46 \text{ m/s} \quad (2)$$

Diketahui nilai v_{mean} yang diperoleh dari perhitungan secara teoritis didapat nilai sebesar 65,46 m/s.

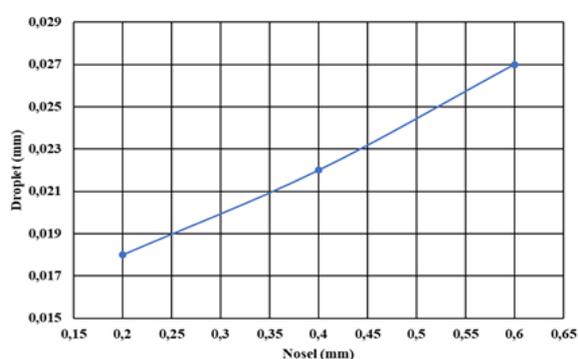
Diameter *droplet*

Karena keterbatasan alat untuk mengukur *droplet* secara actual, maka untuk mengetahui besar butiran *droplet* hasil dari atomisasi bahan bakar dapat diperkirakan menggunakan persamaan *Sauter Mean Diameter* atau D_{32} berikut(Subbarao, n.d.) :

$$D_{32} = 4.12 d_n Re^{0,12} We^{-0,75} \left\{ \frac{\mu_f}{\mu_a} \right\}^{0,54} \left\{ \frac{\rho_f}{\rho_a} \right\}^{0,18} \quad (3)$$

$$D_{32} = 0,018 \text{ mm}$$

Pada grafik bawah ini menjelaskan terjadi peningkatan diameter *droplet* pada setiap *nozzle* variasi *nozzle*.



Gambar 2 Grafik hubungan diameter *nozzle* terhadap diameter *droplet*

Grafik 2 menunjukkan diameter B50 minak kelapa dan kapuk pada setiap variasi diameter *nozzle* pada tekanan 50 bar. Dengan variasi diameter *nozzle* yang diperbesar *droplet* yang dihasilkan semakin semakin besar. Hal ini salah satunya dipengaruhi nilai *Reynolds number* (Afifah, 2019) yang bervariasi berbanding lurus dengan besar diameter *nozzle*. Karena terjadi perbedaan nilai *Reynolds number* pada setiap pertambahan diameter *nozzle*, maka menurut rumus persamaan

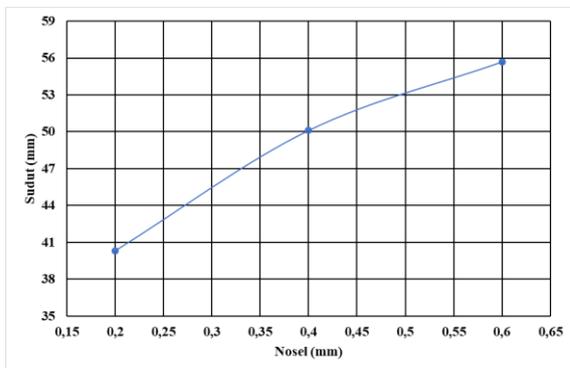
dias nilai *droplet* semakin meningkat. Pada pembakaran *spray*, viskositas bahan bakar berpengaruh terhadap diameter *droplet* yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai viskositas *fluida* maka kekentalan *fluida* tersebut semakin tinggi. Hal tersebut mengakibatkan *fluida* sulit untuk terpecah menjadi *droplet*. Selain viskositas minyak nabati tegangan permukaan juga berpengaruh terhadap diameter *droplet*. Karena diameter *nozzle* yang meningkat pada setiap *nozzle* yang bervariasi maka secara otomatis tegangan permukaan dari minyak nabati ikut meningkat sehingga diameter *droplet* yang dihasilkan ikut meningkat lebih besar.

Sudut *spray* secara teoritis

Besar sudut *spray* dapat diperkirakan secara teoritis. Untuk mengetahui besar sudut *spray* maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta = 0,05 \left(\frac{\Delta p_i d_0^2}{\rho_l v_i^2} \right)^{1/4} = 0.0845 \quad (4)$$

Karena tekanan terhadap *nozzle* sama dan diameter *nozzle* diperbesar maka secara teoritis sudut *spray* yang terbentuk mengalami peningkatan.



Gambar 4. Grafik hubungan antara diameter lubang *nozzle* terhadap sudut *spray* secara teoritis

Sudut *spray* aktual

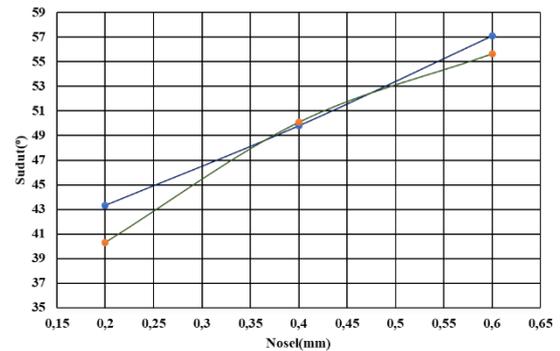
Hasil pengujian sudut *spray* pada tekanan 50 bar menggunakan minyak B50 kelapa dan kapuk dengan variasi *nozzle* 0,2, 0,4, 0,6 mm.



Gambar 3. Hubungan variasi *nozzle* terhadap sudut *spray*

Diameter *nozzle* berperan terhadap sudut *spray*. Pada gambar 3 dengan tekanan yang konstan 50 bar dan *nozzle* yang bervariasi terjadi perubahan sudut yang sangat signifikan. Pada diameter lubang *nozzle* 0.2 sudut *spray* yang terbentuk 43,34°, saat diameter lubang *nozzle* diperbesar menjadi 0,4 terjadi peningkatan

penyebaran *droplet* sebesar 7,52°, sudut yang terbentuk pada diameter lubang *nozzle* 0,4 sebesar 49,8°. Ketika diameter lubang *nozzle* dinaikan lagi dari 0,4 mm menjadi 0,6 mm sudut *spray* yang terbentuk meningkat menjadi 57,10°, sehingga terjadi peningkatan sudut *spray* sebesar 12,69°. Perpindahan diameter lubang *nozzle* dari 0,4 menjadi 0,6 membentuk sudut *spray* lebih besar 5,17° jika dibandingkan dengan perpindahan diameter lubang *nozzle* 0,2 menjadi diameter lubang *nozzle* 0,4.

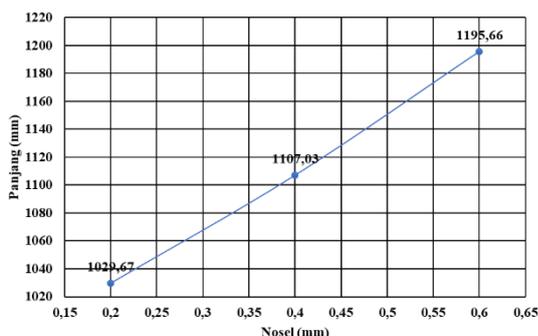


Gambar 5. Grafik hubungan diameter *nozzle* terhadap sudut *spray*

Peningkatan diameter lubang *nozzle* dari 0,2 mm ditingkatkan menjadi 0,4 mm dan 0,6 mm terjadi perubahan sudut *spray*. Sudut *spray* paling kecil terjadi pada diameter lubang *nozzle* 0,2 mm dengan sudut penyebaran sebesar 43,34°, jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *nozzle* 0,6 dimana sudut penyebaran sebesar 57,1°. jika dibandingkan dengan sudut secara teoritis, sudut *spray* secara actual pada *nozzle* diameter 0,2 dan 0,6 memiliki nilai lebih besar tetapi pada diameter *nozzle* 0,4 memiliki sudut penyebaran yang lebih kecil. Disisi lain minyak kelapa dan minyak kapuk termasuk golongan minyak polar yang memiliki rantai panjang asam lemak dan rentan terhadap oksidasi, hal tersebut mengakibatkan viskositas minyak kelapa dan kapuk tinggi. Viskositas yang tinggi pada minyak kapuk dan kelapa mengakibatkan laju aliran bahan bakar terhambat, tetapi dengan variasi diameter *nozzle* yang semakin besar hambatan laju aliran minyak nabati pada saat melewati lubang *nozzle* akan berkurang dan hal tersebut berpengaruh terhadap besar sudut *spray* yang dihasilkan.



Gambar 6. hubungan diameter *nozzle* terhadap panjang nyala api



Gambar 7. Grafik hubungan diameter *nozzle* terhadap panjang nyala api

Terlihat pada grafik tersebut bahwa semakin besar diameter *nozzle* berdampak terhadap nyala api, pertambahan panjang nyala api terjadi salah satunya dipengaruhi oleh debit bahan bakar. Dari perhitungan secara teoritis debit bahan bakar paling kecil terdapat pada diameter *nozzle* 0,2 mm sedangkan debit paling besar terjadi pada *nozzle* 0,6 mm. Peningkatan debit setiap diameter *nozzle* secara otomatis juga akan meningkatkan intensitas *droplet* yang di hasilkan. Jika ditinjau sifat-sifat bahan bakar kedua bahan bakar pada tabel 2.2 minyak kapuk dan minyak kelapa sama sama memiliki *flash poin* yang tinggi jika dibandingkan dengan minyak bumi dan memiliki tingkat penguapan yang sangat rendah (Perdana, Wardana, Yuliati, & Hamidi, 2018). Tingkat penguapan yang rendah pada bahan bakar mengakibatkan proses difusi bahan bakar dengan oksidator terjadi pada daerah yang lebih luas (Sasongko, 2018). Dengan meningkatnya debit bahan bakar dan dimensi *droplet* yang dihasilkan semakin besar pada variasi diameter *nozzle*, proses pembakaran terjadi lebih panjang agar *droplet* terbakar secara keseluruhan. Menurut teori, hal ini berhubungan dengan nilai burning rate, dimana proses pembakaran yang terjadi dengan cepat akan menghasilkan ukuran api yang lebih kecil dibandingkan dengan reaksi pembakaran yang berlangsung lambat (Valente, Pasa, Belchior, & Sodr , 2012). Selain itu mekanisme bahan bakar cair dapat terbakar sebelumnya akan melewati fase penguapan terlebih dahulu sebelum kemudian berdifusi dengan oksidator membentuk reaktan kemudian terbakar.

Hubungan variasi diameter *nozzle* terhadap forward dan flashback nyala api pada tekanan 50 bar
Forward flame 100mm



Gambar 8. Forward flame 100mm dari ujung *nozzle*

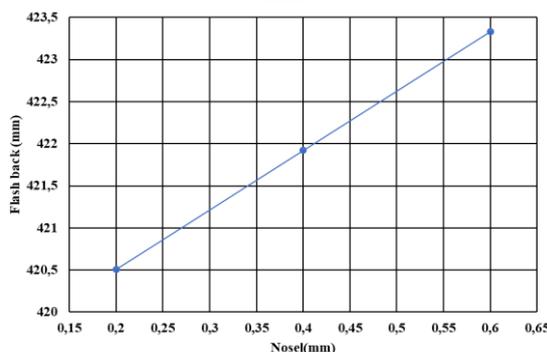
Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi *forward flame* pada saat pemantik atau sumber nyala api berada pada posisi 100 mm dari ujung *nozzle* yang ditandai dengan mistar seperti pada

gambar. Pada diameter *nozzle* 0,2 mm nyala api terjadi pada 28,57 mm dibelakang penggaris terjadi peningkatan pada saat diameter *nozzle* diperbesar menjadi 0,4 mm dimana nyala api diameter *nozzle* 0,4 mm menempel pada mistar. Sedangkan pada saat diameter *nozzle* dinaikkan kembali menjadi 0,6 mm ujung nyala api kembali menjauh dari *nozzle* pada posisi 38,11 mm dibelakang penggaris. Pada tabel 2.2 viskositas minyak kelapa lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak kapuk. Karena dalam penelitian ini menggunakan minyak *blending* kapuk dan kelapa, kemungkinan pada *nozzle* 0,4 mm minyak kelapa yang paling mendominasi bahan bakar yang di *spray* sedangkan pada *nozzle* 0,2 mm dan 0,6 mm viskositas minyak kapuk mendominasi bahan bakar yang di *spray*. Karena viskositas kedua bahan bakar berbeda pada minyak yang di *blending* hal tersebut mengakibatkan poses perubahan bentuk dari *sheet*, *ligament* sampai terbentuk menjadi *droplets* berbeda beda tergantung minyak nabati yang mendominasi.

Flashback 500mm



Gambar 9. Flashback nyala api pada posisi pemantik 500 mm



Gambar 10. Grafik hubungan diameter *nozzle* terhadap Panjang nyala api flashback jarak 500mm dari ujung *nozzle*

Gambar diatas menunjukkan terjadi *flashback* yang cukup panjang pada saat posisi pemantik berada pada posisi 500mm. pada saat diameter *nozzle* 0,2 mm api *flashback* sepanjang 420,51 mm terjadi peningkatan terus menerus pada saat diameter *nozzle* diperbesar. Hal ini menunjukkan bahwa pada posisi 500 mm di depan *nozzle* bahan bakar sudah berbentuk *droplet* yang sempurna sehingga dapat terjadi *flashback* yang cukup panjang. Disisi lain sudut *spray* berpengaruh terhadap panjang fase terbentuknya drolet yang terjadi. Pada gambar nyala api *flashback* diatas menunjukkan semakin besar sudut *spray* maka

panjang api *flashback* akan semakin panjang tetapi kecepatan pembakarannya menurun karena *droplet* yang semakin besar.

Nyala api 900 mm



Gambar 11. Nyala api pada posisi pemantik 900 mm dari ujung *nozzle*

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pada saat pemantik berada pada posisi 900 mm dari ujung *nozzle*, bahan bakar tidak dapat terbakar secara stabil. Pada saat diameter *nozzle* 0,2 mm hanya terjadi ledakan kecil bahan bakar pada saat lidah api pemantik menyentuh *droplet* yang tersebar. Nyala api membesar seiring bertambahnya diameter lubang *nozzle*. Hal ini disebabkan salah satunya karena debit bahan bakar meningkat pada saat diameter lubang *nozzle* diperbesar. Sehingga intensitas *droplet* pada *nozzle* 0,6 mm lebih besar dibandingkan dengan diameter *nozzle* yang kecil. Selain faktor debit bahan bakar kecepatan injeksi bahan bakar juga sudah mulai menurun pada saat *droplet* mencapai jarak 900 mm sehingga *droplet* bahan bakar sudah mulai menyatu kembali membentuk *droplet* yang lebih besar. Karena pada saat *nozzle* 0,2 intensitas *droplet* lebih sedikit dan diameter *droplet* semakin besar, untuk mencapai temperatur dimana minyak nabati dapat menyala dengan stabil. Sedangkan ledakan *droplet* terjadi karena dipengaruhi oleh kandungan myristic didalam minyak nabati. Ledakan tersebut merupakan reaksi berantai dari *droplet* hasil *spray*. Karena pada *nozzle* 0,6 mm diameter *droplet* lebih besar maka secara otomatis tegangan permukaan *droplet* tersebut ikut besar, pada saat tegangan permukaan *droplet* besar reaksi berantai pada drolet tersebut lebih panjang.

Hubungan sudut *spray* terhadap turbulensi nyala api



Gambar 12. Turbulensi nyala api

Gambar 4.11 menunjukkan perbedaan turbulensi terjadi pada setiap diameter *nozzle*, turbulensi nyala api paling besar terjadi pada diameter *nozzle* 0,6 sedangkan turbulensi paling kecil terjadi pada diameter *nozzle* 0,2. Fenomena ini terjadi karena dipengaruhi oleh sudut *spray* yang berbeda pada setiap diameter *nozzle*, dimana *nozzle* paling besar memiliki sudut *spray* paling besar dan turbulensi yang terjadi juga semakin besar.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan selama ini, didapat beberapa kesimpulan yang tertera dibawah ini :

1. Diameter *droplet* yang dihasilkan berbanding lurus dengan semakin besarnya diameter *nozzle*, sebaliknya diameter *droplet* yang derbanding lurus dengan diameter *nozzle* yang semakin kecil.
2. Bertambahnya panjang nyala api dipengaruhi oleh meningkatnya diameter *nozzle*
3. Semakin meningkatnya sudut *spray* seiring dengan semakin besarnya diameter *nozzle*,
4. Dengan variasi penyalaan awal, *flashback* hanya terjadi pada jarak penyalaan awal 500 mm, sedangkan pada jarak penyalaan awal 100 mm dan 900 mm hanya terjadi *forward flame* dan ledakan nyala api
5. Terjadi perbedaan turbulensi nyala api pada variasi *nozzle*, dimana semakin besar diameter *nozzle* maka semakin besar turbulensi nyala api yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, Y. N. (2016). *ALIRAN TAK TUNAK FLUIDA NANO MAGNETOHIDRODINAMIK (MHD) YANG MELEWATI BOLA*.
- Afifah, Y. N. (2019). Analysis of Unsteady Magneto Hydro Dynamic (MHD) Nano Fluid Flow Past A Sliced Sphere. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012033>
- Afifah, Y. N., & Putra, B. C. (2018). Model Matematika Aliran Tak Tunak Pada Nano Fluid Melewati Bola Teriris Dengan Pengaruh Medan Magnet. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 2(2), 119-124.
- Denitasari, N. A. (2011). *Briket Ampas Sagu Sebagai Bahan Bakar Alternatif*.
- Gunawan, E. et al. (2019) 'Analysis of the Effect of Current Flow Variations in GTAW on SS 400 Plate Material Connected with SUS 304 Stainless Steel Plate Against Tensile Strength and Hardness with ER308L Electrodes', *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1). doi: 10.1088/1742-6596/1175/1/012277.
- Juniarta, I. K., Wirawan, I. K. G., & Ghurri, A. (2017). *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Sudut Semburan Minyak Jelantah*. 6(2), 2-6.
- Perdana, D., Wardana, I. N. G., Yuliati, L., & Hamidi, N. (2018). The role of fatty acid structure in various pure vegetable oils on flame

characteristics and stability behavior for industrial furnace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144243>

- Pinto, A. (2015). *UJI KARAKTERISTIK PENYEMPROTAN BAHAN BAKAR BIODIESEL PADA Characteristics Test Of Biodiesel Fuel Spraying On Nozzle Diesel Engine With Direct Injection System*. 15(1), 1–5.
- Putra, B. C., & Afifah, Y. N. (2018). Gaussian Mixture Model Untuk Penghitungan Tingkat. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 2, 53–58.
- Sasongko, M. N. (2018). *Pengaruh Prosentase Minyak Goreng Bekas Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel*. IV(2).
- Subbarao, P. M. V. (n.d.). *Design of Port Injection Systems for SI Engines*.
- Sudarmanta, B. (2017). *STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESELPALM OIL (B100) TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL SISTEM INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800*. (April).
- Udin, M., Yuliati, L., & Novareza, O. (2017). Pengaruh Persentase Biodiesel Minyak Nyamplung – Solar terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(1), 9–14. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2017.008.01.2>
- Valente, O. S., Pasa, V. M. D., Belchior, C. R. P., & Sodré, J. R. (2012). Exhaust emissions from a diesel power generator fuelled by waste cooking oil biodiesel. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.025>
- Wibawa, I. W. S., Bagus, I. G., Kusuma, W., & Nyoman, I. (2015). *Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel*. 1(2), 35–44.
- Wirawan, I. K. G., Wardana, I. N. G., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2014). Combustion of Jatropha Curcas oil on perforated burner. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*.
- Yunita Nur Afifah, MNH Qomarudin and Imamatul Ummah (2020) 'Optimal Control Model Pemanenan Prey-Predator di Area Konservasi Ikan', *Buana Matematika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Pendidikan Matematika*, 10(1), pp. 1–16. doi: 10.36456/buanamatematika.v10i1.2410.