



P-ISSN : 2622-1276
E-ISSN : 2622-1284

The 6th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)

Website Ciastech 2023 : <https://ciastech.net>

Open Conference Systems : <https://ocs.ciastech.net>

Proceeding homepage : <https://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/issue/view/236>

REVIEW: KAJIAN NOZZLE INJECTION TERHADAP PERFORMANCE PENYEMPROTAN BAHAN BAKAR DAN PEMBAKARAN

Gatot Soebiyakto^{1*)}, Akhmad Farid²⁾, Anjalita Geraldine Roring³⁾

^{1,2,3)} Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

INFORMASI ARTIKEL

Data Artikel :

Naskah masuk, 10 Oktober 2023
Direvisi, 18 November 2023
Diterima, 21 November 2023

Email Korespondensi :

gtotop_bgt@yahoo.com

ABSTRAK

Proses pembakaran dalam motor bakar di tentukan oleh pencampuran udara dan bahan bakar atau *AFR (Air Fuel Ratio)*. Pencapaian pembakaran yang ideal dan sempurna pada ruang bakar (*Chamber*) disamping peran utamanya juga di tentukan oleh kualitas bahan bakar. Dewasa ini banyak sekali jenis bahan bakar yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif. *Nozel* injektor bahan bakar bensin dan diesel mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas semprotan bahan bakar. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah mengkaji lebih dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait pembakaran dalam ruang bakar beserta performansi *property* penunjang proses pembakaran mulai dari *nozzle*, lubang *nozzle*, kekasaran lubang, tekanan, droplet, bahan bakar, nyala api hingga peninjauan karakteristik mesin (motor bakar). Tahapan metode penelitian dilaksanakan pada tahap awal dengan citasi jurnal-jurnal terkait topik diatas, untuk mendapatkan data awal dilakukan pemetaan terkait topik penelitian yang terkait. Hasil dari pemetaan jurnal akan didapatkan gambaran dan karakteristik masing-masing properti. Dari hasil analisa topik terbaru (*novelty*) yang akan dibahas adalah jarak droplet dan *finger flame*. Jarak droplet sangat berpengaruh terhadap oksidasi hal ini disebabkan adanya aktivasi droplet saling bertumbukan akibatnya reaksi semakin aktif dan radikal, sedangkan *finger flame* akibat dari fenomena reaktif nyala api menyebabkan nyala api membentuk jari-jari api (*finger flame*). Penelitian berkelanjutan dari *novelty* yang ditemukan data numerik dengan metode eksperimental berskala laboratorium. Dari analisis tinjauan pustaka, sebagai target yang diharapkan berupa luaran publikasi ilmiah nasional ataupun internasional dan pendaftaran HKI sederhana.

Kata Kunci : *Nozzle, injection, lubang nozzle, sudut sebaran, droplet*

1. PENDAHULUAN

Proses pembakaran dalam motor bakar di tentukan oleh pencampuran udara dan bahan bakar atau *AFR (Air Fuel Ratio)*. Pencampuran udara dan bahan bakar juga di tentukan oleh suatu alat penyemprot/memasukkan bahan bakar yaitu *nozzle* biasa digunakan pada motor diesel sedangkan cara memasukkan bahan bakar mesin bensin adalah injeksi. Pencapaian pembakaran yang ideal dan sempurna pada ruang bakar (*Chamber*) disamping peran utamanya juga di tentukan oleh kualitas bahan bakar. Dewasa ini banyak sekali jenis bahan bakar yang digunakan sebagai bahan bakar *alternative*. Minyak nabati salah satu jenis bahan bakar yang banyak digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Kandungan minyak nabati mempunyai banyak manfaat antara lain yaitu untuk meningkatkan performansi motor bakar, membersihkan injeksi bahan bakar, mengurangi endapan senyawa organik pada ruang bakar, serta dapat menghemat konsumsi bahan bakar dan menurunkan emisi gas buang. Pada proses pembakaran ideal, peranan oksigen. Oksigen digunakan sebagai penyempurna reaksi pembakaran dalam proses pembakaran di ruang bakar. Reaksi pembakaran yang sempurna dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Minyak atsiri merupakan senyawa hidrokarbon oksigenat yang kaya akan oksigen. Beberapa ilmuwan dan peneliti dari berbagai disiplin ilmu terus mengembangkan pengetahuan dan teknologi. Dari hasil penelitian [1] menunjukkan bahwa perlakuan kekasaran pada lubang *nozzle* sangat berpengaruh pada karakteristik nyala api. Pada campuran bahan bakar *pertalite* 125ml dan spirtus 15ml adalah campuran bahan bakar terbaik sedangkan campuran bahan bakar *pertalite* 125ml dan spiritus 25ml pada variasi kekasaran lubang *nozzle* dengan ulir 1mm berpengaruh pada laju konsumsi bahan bakar tertinggi (boros). Hasil dari eksperimen [2] karakteristik *spray* mempengaruhi bahan bakar, penambahan etanol pada bio solar menyebabkan penurunan *spray* tip penetration dan kecepatan *spray*, sedang untuk nilai sudut *spray* akan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan penurunan densitas dan viscositas. Penelitian ini dilakukan [3] pada nosel dengan campuran udara bahan bakar mendekati stoikometri sehingga nyala api terangkat (*lift off*) kemudian padam (*blow off*). Berdasarkan data hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan udara dan bahan bakar (AFR) memberikan bentuk nyala api yang awalnya dominan berwarna kuning nyala apinya kemudian berubah api biru yang dominan sampai nyala api terangkat (*lift off*) kemudian nyala api padam (*blow off*). Kenaikan temperatur terjadi karena adanya perubahancampuran udara dan bahan bakar.

Permasalahan-permasalahan dari penelitian yang akan dilaksanakan adalah mereview sitasi dari beberapa penelitian untuk mencari *novelty* atau kebaruan yang belum terungkap. Tujuan khusus terkait rumusan masalah tersebut di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah mencari kebaruan dalam bidang penelitian yang sama namun belum terungkap dari sisi pandang lainnya. adalah mendapatkan berbagai sumber informasi eksperimen atau simulasi dari peneliti-peneliti. Lebih khusus lagi yaitu kebaruan (*novelty*) dari penelitian-penelitian sebelumnya. Urgensi penelitian yang telah dilakukan dengan mereview jurnal penelitian-penelitian sebelumnya, tahapan berikutnya yaitu pemetaan sesuai skem bidang keilmuan kemudian menelaah dan memahami jurnal pelaksanaan penelitian. Selanjutnya hasil riset akan dipakai sebagai acuan atau referensi bahan bakar dan pembakaran minyak secara umum untuk menentukan penelitian selanjutnya yang belum terungkap dijadikan sebagai kebaruan (*novelty*).

Penelitian yang telah dilakukan

Hasil penelitian [4] menunjukkan bahwa kondensat dapat menjadi bahan bakar alternatif potensial untuk keperluan industri dengan *temperature* nyala api tertinggi 1480 °C dan warna api

yang biru. Hal ini terjadi karena adanya kehilangan panas sebesar 10,34 % selama proses pembakaran. penelitian [5] yaitu secara *statistic* tidak ada perbedaan yang signifikan dalam penggunaan bahan bakar biosolar dan dampak emisi gas buang. Pengamatannya [6] disimpulkan bahwa semakin besar prosentase minyak solar yang ditambahkan dalam proses pembakaran, maka tinggi dan temperatur nyala api akan semakin meningkat. Ini dikarenakan karakteristik dari bahan bakar yang berbeda, Dari hasil [7] disimpulkan ada perbedaan laju panjang api dan kecepatan nyala api pada masing-masing perbandingan uji nyala pada hasil penyulingan limbah Ban, Dimana minyak ban lebih cepat sebesar 6,99 m/s. Dengan demikian maka minyak ban dapat diperhitungkan sebagai energi alternatif pengganti solar. Penelitian [8] ini didapatkan hasil titik nyala terendah pada campuran 10% minyak sawit mentah memiliki nilai titik nyala lebih rendah yaitu 97°C dan nilai tertinggi pada campuran bahan bakar minyak sawit mentah 50% adalah 152°C. Hasil penelitian [9] menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah cair yaitu minyak jelantah dan oli bekas dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. [10] Pemanfaatan pemanas awal dengan menggunakan variasi lilitan, semakin banyak lilitan, bahan bakar mengalami pemanasan awal lebih lama sehingga bahan bakar lebih siap teratomisasi saat disemprotkan melalui nosel. Penelitian [11] menunjukkan bahwa untuk diameter burner 5 cm dengan jumlah lubang semakin banyak akan menyebabkan konsumsi bahan bakar semakin boros begitu sebaliknya semakin sedikit lubang nosel pemakaian bahan bakar semakin hemat, demikian jumlah panas yang dihasilkan tidak signifikan dengan jumlah lubang nosel. Hasil penelitian [12] menunjukkan temperatur ideal adalah berada pada kisaran antara 70 °C – 80 °C, menghasilkan sudut injeksi yang optimal guna menghasilkan pembakaran yang sempurna yaitu antara 10 – 11,5 °C. Hasil penelitian [13] menunjukkan bahwa tekanan pembukaan yang memenuhi standart untuk *nozle*. Semakin tebal shim penyetel yang diberikan maka tekanan pembukaan *nozle* dan tekanan pengabutannya juga semakin besar. Pengamatan [14] penyemprotan nosel bahan bakar yang baik dan sempurna diperlukan perawatan yang terencana agar didapatkan proses pembakaran. [15] *Burning Load* pada proses pembakaran tercapai pada diameter nosel berukuran kecil, sedangkan tinggi api tidak dipengaruhi oleh *burning load* (BL). [16] tentang nosel dalam proses atomisasi bahan bakar salah satunya di pengaruhi tekanan bentuk *nozzle* dan diameter *nozzle*. Hasil penelitian [17] menyimpulkan bahwa variasi tekanan *nozzle* dan putaran berpengaruh terhadap emisi gas buang, nilai emisi gas buang HC (ppm) paling rendah pada tekanan *nozzle* 130 kg/cm² pada putaran 1000 rpm. Penelitian [18] dengan metode eksperimen deskriptif kuantitatif dan kualitatif bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan katup air dan variasi diameter nosel terhadap kualitas nyala api. Dari penelitian [19] disimpulkan bahwa penggunaan *turncated nozzle* sudut luar dengan variasi *lip thickness* mengakibatkan kestabilan dan nyala api difusi *concentric jet flow* semakin menurun.

Hasil penelitian [20], didapatkan bahan bakar solar (B0) dengan variasi tekanan 5 bar memiliki nilai tinggi api 129,367 cm yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tekanan bahan bakar yang lainnya maupun minyak jelantah (B100). Hal ini disebabkan oleh nilai viskositas pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah (B100) lebih besar, sehingga hal tersebut dapat menghambat deformasi dari bahan bakar yang disemburkan. Penelitian yang dilakukan [21], temperatur rata-rata tertinggi nyala api *syngas* yang didapatkan yaitu pada *AFR* 0,72 Hal ini menunjukkan bahwa ketika *Air Fuel Ratio* menurun maka mengakibatkan kandungan *flammable gas* dalam kandungan *syngas* semakin besar, dan penambahan *AFR* akan mengakibatkan penurunan *flammable gas* yang ditandai dengan penurunan pada temperatur nyala api tersebut. Pada visualisasi warna nyala api yang didapatkan, tidak diperoleh api yang berwarna kebiru-biruan. Durasi waktu nyala api *syngas* terbaik yaitu pada

AFR 0,72 dengan 57 menit. Sedangkan, durasi waktu nyala api *syngas* tercepat yaitu pada AFR. Hasil pengujian [22] didapatkan dari tekanan nosel 137,29 Bar dengan nilai torsi tertinggi, daya tertinggi 102,28 PS dan efisiensi termal tertinggi sebesar 30 %. Hasil pengujian [23], burner dapat diketahui bahwa kinerja unit burner bisa menghasilkan nyala api kontinyu pada tekanan diatas 4 bar, ini lebih rendah dari penelitian sebelumnya yaitu 5 bar.

Hasil pengamatan [24], menunjukkan bentuk nyala api kondisi microgravity memiliki kontur bulat dengan jarak penyebaran lebih panjang dan semakin jauh jarak interaksi akan membuat kecepatan perambatan menurun dan semakin jauh jarak interaksi membuat jarak batas perambatan api semakin pendek. Pengujian [25] sudut pancaran *droplet* diketahui jika di berikan peningkatan pada tekanan diameter sudut pancaran *droplet* semakin lebar begitu sebaliknya jika terjadi penurunan tekanannya sudut akan semakin kecil, pada *spray* nyala api saat pengujian peningkatan tekanan yang di berikan pada *nozzle* 0,2 mm menimbulkan panjang nyala api makin panjang dan terjadi *flashback* pada jarak 500 mm di karenakan peningkatan tekanan *droplet* yang di timbulkan semakin kecil begitu pula sebaliknya. Diameter *droplet* yang dihasilkan [26] semalin 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*. Dari pengujian yang telah dilakukan [27] maka di dapatkan sebagai berikut, pada tekanan nosel 120 bar BD 5% memiliki karakteristik yang paling mendekati D 100% (solar) baik dari kecepatan semprotan, sudut semprotan maupun jumlah butirannya. Dari pengujian [28], yang telah dilakukan di dapatkan tekanan nosel 120 bar BD 5% memiliki karakteristik yang paling mendekati D 100% (solar) baik dari kecepatan semprotan, sudut semprotan maupun jumlah butirannya. Simulasi [29] menggunakan ANSYS 13.0 paket perangkat lunak, data yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan eksperimen variasi putaran untuk menentukan zona kinerja terbaik pada mesin 113.5cc bensin. Hasil simulasi menunjukkan zona kinerja terbaik pada 3000 rpm pembakaran, bahan bakar mulai terbakar pada tekanan 1.471,90 kPa. [30] Proses penyalaan disebabkan oleh penumpukan propelan yang tidak terbakar akibat terbatasnya bidang kontak penyalaan api dengan propelan. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa [31] bahwa campuran udara dan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap bentuk badan api, distribusi *temperature*, keringgian nyala api, *temperature* center line dan q radiasi, pada percobaan tekanan bahan bakar 0,50 bar dan kecepatan 14,862 m/detik dihasilkan nyala api biru yang memiliki arti bahan bakar terbakar sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar bahan bakar yang digunakan maka akan semakin besar pula udara yang dibutuhkan dalam proses pembakaran. Pada penelitian [32] ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan udara maka semakin cepat/rendah waktu konsumsi bahan bakar yang diperlukan. Percobaan eksperimen [33] didapat hasil volume bahan bakar yaitu 31 cc untuk setiap elemen pompa. Dari hasil setelah penyetulan menunjukan bahwa volume bahan bakar sudah sesuai standar referensi pabrikan., Dari hasil penelitian [34]diperoleh bahwa laju aliran udara dan jumlah lubang berpengaruh pada nyala api, temperatur dan kualitas pembakaran. Penelitian yang telah dilakukan [35], yaitu mencampur minyak nabati dari bijih alpukat pada solar murni berpengaruh pada penurunan kecepatan terbentuknya tip penetrasi *spray* juga memperkecil sudut *spray*. [36],[37], hasil pengujian keduanya memiliki kemiripan eksperimen yaitu dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan maka sudut semprot semakin besar sebaliknya tekanan rendah membuat sudut semprot akan mengecil panjang nyala api bertambah panjang ketika tekanan semakin tinggi maka terjadinya *flashback* pada penyalaan awal. [38], Hasil pengujian menunjukkan pada beban mesin, dengan efisiensi paling optimal ada pada

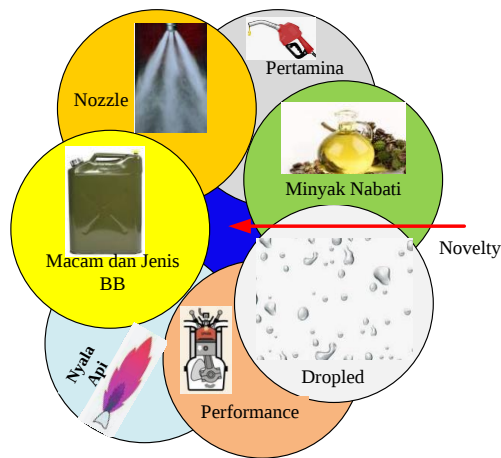
beban mesin 900 kW dimana pada tekanan injektor 300 bar . [39],[40], dalam ekperimennya menyatakan pola distribusi penyemprotan menunjukkan bertambahnya tinggi *nozzle*, tekanan semprot mempengaruhi luas penyemprotan. Kecepatan kerja akibat perbedaan tinggi penyemprotan. [41], Parameter dengan MRR paling optimal didapatkan pada kecepatan *torch* level 3 sebesar 475 mm/min, tekanan oksigen pada level 3 sebesar 7,5 kg/cm² dan jarak *nozzle* pada level 2 sebesar 6 mm. [42], Penelitian ini memberikan informasi terkait parameter proses mikroenkapsulasi minyak sawit merah yang perlu dikontrol pada saat melakukan peningkatan skala produksi dari skala laboratorium ke skala pilot plant menggunakan alat pengering semprot. [43],[44], Hasil yang didapatkan setelah dilakukan penelitian adalah meningkatkan performansi mesin diesel pada umumnya. [45], membuktikan bahwa peningkatan tekanan injeksi akan mempersingkat waktu breakup dan panjang breakup sedangkan regim splash saat semprotan biodiesel minyak goreng bekas menumbuk dinding piston hanya terjadi pada tekanan injeksi 175 dan 200 bar. Droplet kecil muncul akibat tekanan injeksi yang tinggi. [46], Hasil numerik membuktikan bahwa biodiesel minyak goreng bekas memiliki droplet berdiameter lebih besar daripada biodiesel kelapa atau jatropa curcas karena memiliki tegangan permukaan tinggi. [47], Hasil dari uji karakteristik semprotan yang menghasilkan nilai baik adalah bahan bakar solar, namun yang paling mendekati nilai bahan bakar solar adalah B30G5. Berdasarkan hasil analisis [48], menunjukkan bahwa semakin besar kandungan campuran biodiesel maka besar sudut pengabutan semakin sempit dan jarak pengabutan semakin jauh. Hasil penelitian [49], adalah penambahan biodiesel menyebabkan viskositas bahan bakar lebih tinggi dan panjang penetrasi bahan bakar lebih kecil, namun penambahan pemanasan menyebabkan viskositas lebih rendah dan menjadikan panjang penetrasi bertambah. Penelitian yang akan dilakukan [50], adalah mencampurkan minyak kayu putih dengan prosentase 5%, 10%, 15% pada minyak nabati. Campuran minyak nabati-minyak kayu putih tersebut kemudian dilakukan pengujian *Single Droplet* untuk dapat mengetahui karakteristik pembakaran (Ignation delay, Burning rate, pertumbuhan gelembung, fenomena api dan temperatur pembakaran). Hasil pengujian yang dilakukan [51], mengenai pengaruh tekanan terhadap sudut penyemprotan minyak jelantah diperoleh bahwa, variasi tekanan yang diberikan berpengaruh terhadap sudut penyemprotan minyak jelantah. Peningkatan tekanan dari 3 bar, 4 bar dan 5 bar, menyebabkan peningkatan sudut penyemprotan pada ujung *nozzle*. [52], Hasil *spray tip penetration* paling maksimal pada temperatur pemanasan 70°C adalah B 100 dengan panjang 58,433 cm sedangkan paling minimum adalah B 0 dengan 47,401 cm. Hasil kecepatan semprot yang paling tinggi pada temperatur pemanasan 90°C adalah B 100 dengan 47,210 cm/s. Hasil sudut semprot yang paling besar pada temperatur pemanasan 110°C adalah B 0 dengan 9,191°, sedangkan yang paling kecil adalah B 100 dengan 6,969°.

2. METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan penelitian dilaksanakan dengan studi literature referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya yaitu pada topik bahan bakar dan pembakaran. Penelitian ini sudah banyak dikaji dan diungkap. namun dari sisi sudut pandang yang lain perlu adanya inovasi guna sebuah kesempurnaan hasil penelitian yang semakin lebih baik dengan hasil maksimal.

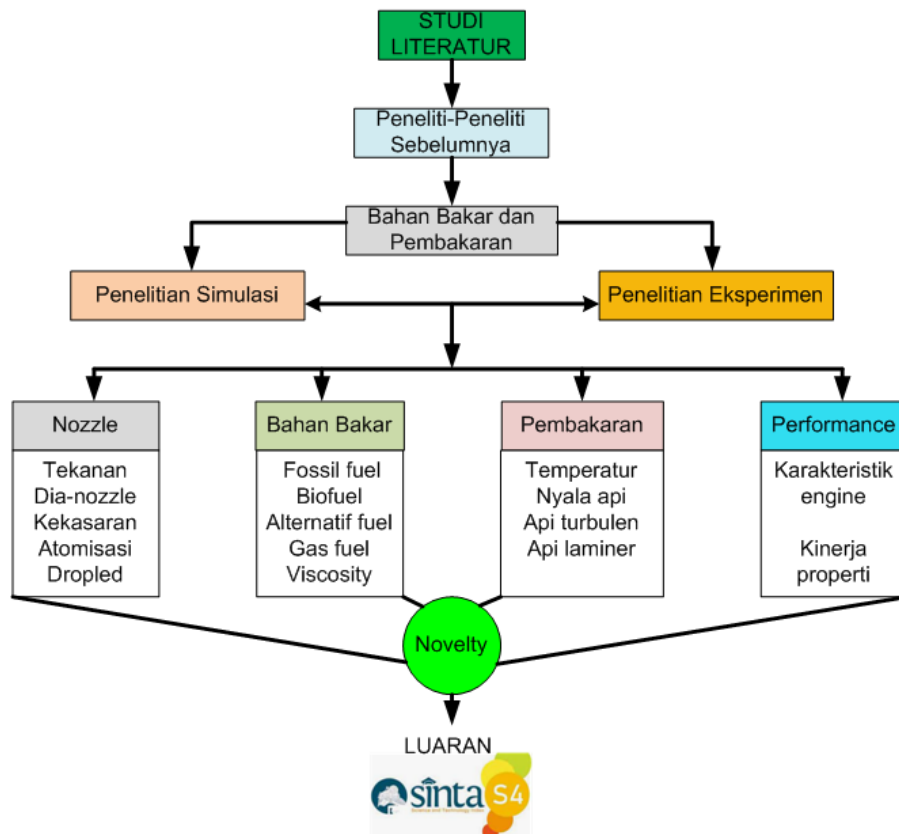
Dari beberapa referensi yang sudah terkumpul di jadikan acuan dalam mereview setiap hasil penelitian atau eksperimen/simulasi. Selanjutnya dilakukan pemetaan topik jurnal agar didapatkan poin-poin penting. Dari poin-poin atau intisari dari beberapa jurnal disusun *topic* inti yang belum sempat terungkap. Topik inilah sebagai topik kebaruan (*novelty*) yang akan di bahas atau direview pada penelitian ini dan jangka panjang akan diimplementasikan dalam penelitian selanjutnya.

Hipotesa penelitian secara umum terhadap bahan bakar dan pembakaran agar didapatkan karakteristik pembakaran yang sempurna.



Gambar 1. Kerangka Konsep Penelitian Kebaruan (*Novelty*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Pemetaan artikel jurnal

Peranan bahan bakar dan pembakaran dalam aplikasi sehari-hari untuk mendukung kebutuhan *sector industry*, transportasi sangat ditentukan oleh nilai bakar bahan bakar (*HHV=higher heating*

value dan LHV=lower heating value). Para peneliti-peneliti telah melakukan berbagai macam dan jenis kajian penelitian tentang bahan bakar dan pembakaran terutama hasil dari mutu oksidasi baik menggunakan bahan bakar fosil, bahan bakar gas, bahan bakar nabati (BBN) bahkan bahan bakar *alternative* lainnya. Pengujian atau eksperimen dilakukan dengan cara penelitian simulasi dan penelitian dengan cara eksperimen. Pemetaan penelitian-penelitian sebelumnya dapat diklasifikasinya dalam 4 (empat) golongan besar, adalah:

1. Properti *nozzle* sebagai alat penentu penyemprotan (*spray*): didalam penelitiannya telah di singgung, dianalisa dan di ungkap tentang tekanan, diameter nosel, kekasaran lubang saluran *nozzle*, hasil penyemprotan berupa atomisasi berujung pada droplet yang sangat menentukan kualitas pembakaran dari penyemprotan *nozzle*.
2. Media bahan bakar sebagai peran utama pembakaran sangat ditentukan oleh kualitas bahan bakar dan kandungan yang terkandung didalamnya, termasuk modifikasi komposisi campuran bahan bakar baik untuk macam dan jenis bahan bakar seperti bahan bakar *fossil*, *biofuel*, *alternative fuel*, *gas fuel* dan *alternative fuel*.
3. Proses pembakaran dalam ruang bakar merupakan urutan kedua setelah bahan bakar dan udara tercampur menjadi oksidasi. Pengujian pembakaran telah dilakukan dengan berbagai cara dan upaya untuk menghasilkan pembakaran sempurna/ideal.
4. *Performance external combustion engine* dalam hal ini motor bakar sebagai perangkat dalam menghasilkan kinerja optimum dari pembakaran bahan bakar secara umum, namun proses pembakaran juga tergantung pada kinerja *property* seperti *nozzle* sebagai unsur utama dan perbandingan udara dan bahan bakar (AFR) mendekati stoikiometri.

Dari berbagai penelusuran sumber referensi dari peneliti-peneliti sebelumnya ada permasalahan atau topik yang belum diteliti, dianalisa dan diungkap yaitu jarak masing-masing droplet, fenomena ini sangat membantu antar droplet dalam melakukan aktivasi atomisasi sehingga droplet semakin aktif dan mengakibatkan nyala api semakin cepat menjalar. Kecepatan api menjalar dari momentum antar droplet menyebabkan api membentuk *finger flame* dari arah lubang-lubang *nozzle*.

4. KESIMPULAN

Pemetaan dari studi pustaka yaitu jurnal-jurnal yang telah di *publish* didapat kebaruan topik (*novelty*) adalah jarak droplet dan *finger flame*. Jarak droplet sangat berpengaruh terhadap oksidasi hal ini disebabkan adanya aktivasi droplet saling bertumbukan akibatnya reaksi semakin aktif dan radikal, sedangkan *finger flame* akibat dari fenomena reaktif nyala api menyebabkan nyala api membentuk jari-jari api (*finger flame*). Kebaruan (*novelty*) akan dilaksanakan dalam penelitian selanjutnya secara simulasi maupun secara eksperimen.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang paling berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian adalah LPPM Universitas Widyagama Malang yang telah mensupport penelitian *internal* dosen setiap tahun sekali dalam program PERINTIS (Program Penelitian Dosen Dana *Internal*).

6. REFERENSI

- [1] M. Firmansyah, I. Qiram, and G. Rubiono, "Pengaruh Variasi Kekasaran Lubang *Nozzle* Dengan Campuran Bahan Bakar *Pertalite* dan Spiritus Terhadap Karakteristik Nyala Api," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 6, no. 2, pp. 57–60, 2021, doi: 10.36526/v-mac.v6i2.1518.

- [2] A. Pratama, B. Basyirun, Y. W. Atmojo, G. W. Ramadhan, and A. R. Hidayat, "Rancang Bangun Kompor (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. 2, p. 95, 2020, doi: 10.20961/mechanika.v19i2.42378.
- [3] D. Perdana and E. Gunawan, "Perilaku Dan Kestabilan Nyala Api Pada Pembakaran Premixed Minyak Biji Kapas Terhadap Variasi Air Fuel Ratio," *Perilaku Dan Kestabilan Nyala Api Pada Pembakaran Premixed Miny. Biji Kapas Terhadap Variasi Air Fuel Ratio*, vol. 2018, no. November, pp. 239–246, 2018.
- [4] A. Pousette *et al.*, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する 共分散構造分析Title," *Implement. Sci.*, vol. 39, no. 1, pp. 1–15, 2014, doi: 10.4324/9781315853178.
- [5] H. B. Wahjono and F. Rozaq, "Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar High Speed Diesel Dan Biosolar Terhadap Emisi Gas Buang," *J. Perkeretaapi. Indones.*, vol. 11, no. 1, pp. 47–55, 2018.
- [6] J. C. A. Pah, D. B. N. Riwu, A. Y. Tobe, and S. Siagian, "Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Solar Murni dengan Minyak Kelapa," *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 07, no. 02, pp. 8–14, 2020.
- [7] M. Zainudin, "Analisa Uji Nyala Minyak Hasil Penyulingan Limbah Ban," *J. Crankshaft*, vol. 4, no. 2, pp. 37–46, 2021, doi: 10.24176/crankshaft.v4i2.6670.
- [8] A. Maulana and A. Mursadin, "Uji Karakteristik Pembakaran Crude Palm Oil - Minyak Diesel Dengan Menggunakan Droplet," *Jtam Rotary*, vol. 4, no. 1, p. 63, 2022, doi: 10.20527/jtam_rotary.v4i1.4138.
- [9] A. Setyo Nugroho, A. Teguh Rahayu, N. Andreas Rubiandana, T. Mesin, and S. Warga Surakarta, "Studi Eksperimental Diameter *Nozzle* Terhadap Kualitas Api Kompor Berbahan Bakar Limbah Cair," vol. 5, no. 1, pp. 22–31, 2022.
- [10] A. Ghurri, "Konsep Manajemen Energi," p. 111, 2016.
- [11] K. Ridhuan and E. S. Darma, "Variasi Jumlah Lubang Dan Ukuran Diameter Burner Kompor Premium Terhadap Konsumsi Bahan Bakar," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 113–121, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i2.244.
- [12] B. Fazzry and A. Nugroho, "Pengaruh Temperatur Pada Campuran Minyak Kelapa dan Bahan Bakar Solar Terhadap Sudut Injeksi," *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind.*, pp. 66–71, 2016.
- [13] A. N. Akhmadi and M. T. Qurohman, "Analisis Pengaruh Ketebalan Shim terhadap Perubahan Tekanan Pengabutan *Nozzle* Tipe Satu Lubang pada Isuzu Panther," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 69–78, 2017.
- [14] Ahmad Puji Nugroho, Darjono, and Okvita Wahyuni, "Pengaruh Pengabutan Bahan Bakar Terhadap Kualitas Pembakaran Pada Mesin Induk Di Mt. Bauhinia," *Din. Bahari*, vol. 9, no. 1, pp. 2204–2217, 2018, doi: 10.46484/db.v9i1.88.
- [15] R. Anggarani, Maymuchar, C. S. Wibowo, and I. M. K. Dhiputra, "Beban Pembakaran Dimethyl Ether (DME) dan Liquefied Petroleum Gas (LPG)," *Pros. TAU SNAR-TEK 2019 Semin. Nas. Rekayasa dan Teknol.*, no. 9, pp. 191–195, 2019.
- [16] M. F. Rozaqi, "Pengaruh Variasi Diameter Lubang *Nozzle* Terhadap Dimensi Droplet, Sudut *Spray*, Jarak *Spray*, Dan Bentuk Nyala Api Bahan Bakar Minyak Biji Kapuk," *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, p. 17, 2019, doi: 10.51804/mmmej.v2i1.819.
- [17] T. Ginting, "Pengaruh tekanan nozzle terhadap emisi gas buang ramah lingkungan mesin disel type c190," *Piston*, vol. 4, no. 1, pp. 29–33, 2019.
- [18] D. Syarifudin, Heru Nur Cahyo, Agus Supriyadi, "Pengaruh Variasi Volume Minyak Sawit terhadap Sifat Kimia dan Sifat Fisik Biodiesel Campuran Solar-Minyak Sawit-Alkohol [Metanol, Etanol,

- Butanol],” *J. Konversi*, vol. 8, no. 2, pp. 9–14, 2019.
- [19] A. A. Huda, “Pengaruh Lip Thickness Concentric Jet Flow,” no. October 2018, pp. 53–64, 2019.
- [20] Sukri, M. N. Sasongko, and T. D. Widodo, “Karakteristik Api Hasil Pembakaran *Spray* Difusi Biodiesel Waste Cooking Oil Seminar Proposal Skripsi,” *Tek. Mesin, Universitas Brawijaya Malang*, vol. ISSN : 262, no. Ciastech, pp. 575–580, 2020.
- [21] A. R. Satriono, “PENGARUH VARIASI AIR FUEL RATIO (AFR) PADA GASIFIER TERHADAP KUANTITAS NYALA API SYN GAS PADA GASIFIKASI BIOMASSA CANGKANG SAWIT Diky Riansyah Dwi Heru Sutjahjo Abstrak,” *Jtm*, vol. 09, no. 01, pp. 57–64, 2021.
- [22] PEBRIYANTO, “153310101,” 2022.
- [23] A. W. Pratomo, P. Haryanto, P. Pupuk, P. Kertas, I. Semen, and I. Karbit, “Pengembangan burner berbahan bakar oli bekas untuk meningkatkan efesiensi pembakaran kalsinasi kapur aktif,” pp. 83–88, 2012.
- [24] I. Efek *et al.*, “SURAKARTA,” 2018.
- [25] M. F. Pratama Hokil, “Peranan Variasi Tekanan Pembakaran Difusi Terhadap Karakteristik *Spray* Dengan Bahan Bakar Minyak Kapuk,” *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, p. 49, 2019, doi: 10.51804/mmej.v2i1.823.
- [26] W. A. W, “Analisa Variasi Diameter Lubang *Nozzle* Terhadap Karakteristik *Spray* Minyak Kelapa Dengan Minyak Kapuk (B50) Pada Pembakaran Difusi,” *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.51804/mmej.v3i1.832.
- [27] I. W. S. Wibawa, I. G. Bagus, W. Kusuma, and I. Nyoman, “Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan,” vol. 1, no. 2, pp. 35–44, 2015.
- [28] I. W. S. Wibawa, I. G. B. W. Kusuma, and I Nyoman Budiarsa, “Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel | Jurnal Mettek: Jurnal Ilmiah Nasional dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin,” *J. METTEK*, vol. 1, no. 2, pp. 35–44, 2015.
- [29] R. Rosid, “ANALISA PROSES PEMBAKARAN PADA MOTOR BENSIN 113.5 cc DENGAN SIMULASI ANSYS,” *J. Teknol.*, vol. 8, no. 2, p. 89, 2016, doi: 10.24853/jurtek.8.2.89-93.
- [30] A. N. Hakim, “Analisis Kinerja Enjin Roket Cair Ecx1000H2-3,” *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 16, no. 1, p. 9, 2018, doi: 10.30536/j.jtd.2018.v16.a2973.
- [31] L. Parinduri and T. Parinduri, “Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020.
- [32] Yohan Widhi Atmojo, *Pengaruh Variasi Tekanan Udara Terhadap Waktu Konsumsi Bahan Bakar Dan Sifat Nyala Api Pembakaran Oli Bekas Pada Kompor (Burner)*. 2020.
- [33] U. M. Sugeng, M. Firdausi, and A. Hakim, “Pengaruh Kalibrasi Inline Pump Pada Mesin Diesel,” *Presisi*, vol. 24, no. 2, pp. 64–78, 2022.
- [34] M. Mafruddin, K. Ridhuan, E. Budiyanto, K. Kurniawan, M. A. Mubarak, and N. B. Pratama, “Pengaruh laju aliran udara dan lubang uap air terhadap kinerja kompor dengan bahan bakar oli bekas,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 308–316, 2022, doi: 10.24127/trb.v11i2.2336.
- [35] “Pengujian Performance Biodiesel Biji Alpukat Di Tinjau Dari Karakteristik Panjang Penyemprotan Dan Ukuran Butiran,” *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 15, no. Vol 15 No 3 (2015): November, p. 164, 2015.
- [36] “Pengaruh Variasi Tekanan Pada Pembakaran *Spray* Bahan Bakar Minyak Kelapa Murni Terhadap Sudut, Panjang Nyala Api, Diameter Droplet, Flashback,” *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, p. 25, 2019, doi: 10.51804/mmej.v2i1.820.

- [37] "PEMBAKARAN *SPRAY* DENGAN CAMPURAN BAHAN BAKAR MINYAK KELAPA DAN MINYAK KAPUK (B50)," vol. 3, pp. 12–17, 2020.
- [38] "Analisis Unjuk Kerja Mesin Disel Deutz Mwm Bv M 628 (Bv 3) Berdasarkan Variasi Tekanan Injektor Di Ulpltd Meyurai," *Suara Tek. J. Ilm.*, vol. 12, no. 1, p. 28, 2021, doi: 10.29406/stek.v12i1.2848.
- [39] Agus Dharma, "Uji Distribusi Semprotan *Sprayer* Pestisida Dengan Patternator Berbasis Water Level Detector," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.*, vol. 9, no. 2, p. 85, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9i2.85-95.
- [40] R. Sebastian, "PENGARUH VARIASI PARAMETER KECEPATAN TORCH, TEKANAN OKSIGEN dan JARAK *NOZZLE* TERHADAP MATERIAL REMOVAL RATE PADA PROSES OTOMASI GAS CUTTING," vol. 19, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [41] R. Sebastian, "Pengaruh Variasi Parameter Kecepatan Torch, Tekanan Oksigen Dan Jarak *Nozzle* Terhadap Material Removal Rate Pada Proses Otomasi Gas Cutting," *Rotor*, vol. 12, no. 2, p. 17, 2020, doi: 10.19184/rotor.v12i2.16063.
- [42] D. R. Adawiyah, "Peningkatan Skala Produksi Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah dengan Pengering Semprot," *J. Mutu Pangan Indones. J. Food Qual.*, vol. 6, no. 1, pp. 9–16, 2019, doi: 10.29244/jmpi.2019.6.9.
- [43] A. S. Ahmad, "Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Dual Fuel Dengan Variasi Tekanan Penginjeksian Pada Injektor Mesin Yanmar TF 55R-Di," *J. Skripsi Tek. Its*, vol. 4, no. October 2016, pp. 1–6, 2017.
- [44] Y. P. NUARI, "ANALISIS PENGARUH VARIASI PEMANASAN BAHAN BAKAR B20 TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL TV1," 2020.
- [45] I. G. T. P. Surya, "KARAKTERISTIK SEMPROTAN BIODIESEL MINYAK GORENG BEKAS I Gede Teddy Prananda Surya Teknik Mesin Universitas Udayana 1 Surya , I Gede Teddy Prananda ; Simulasi Numerik I : Pengaruh Tekanan Injeksi Terhadap Karakteristik Semprotan Biodiesel Minyak Goreng Bek," vol. 8, no. 2, pp. 1–5, 2022.
- [46] I. G. T. P. Surya, "RUANG BAKAR MEXICAN HAT I Gede Teddy Prananda Surya Teknik Mesin Universitas Udayana Biodiesel is a renewable fuel with almost changeable properties for diesel fuel and can be used in direct injection diesel motors without changing the fuel system . The r," vol. 6, no. 2, pp. 18–23, 2020.
- [47] M.H.A. Rafdi, "Uji variasi temperatur dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik *spray*," pp. 78–83, 2015.
- [48] D. Budianto, "Study of *Spray* Characteristic on Biodiesel Mixture Variation," pp. 9–10, 2019.
- [49] Luluk Fitri Yani, "Karakteristik *Spray* Bahan Bakar Campuran Diesel dan Biodiesel Nyampulng (*Calophyllum Inophyllum*) dengan Perlakuan Panas," *Digit. Repos. Univ. Jember*, no. September 2019, pp. 2019–2022, 2021.
- [50] E. Marlina, "Analisa Pertumbuhan Gelembung Pada Pembakaran Single Droplet Minyak Nabati," no. November, 2018.
- [51] I. K. Juniarta, "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Sudut Semburan Minyak Jelantah," *J. Ilm. Tek. DESAIN Mek.*, vol. 6, no. 2, pp. 215–219, 2017.
- [52] P. B. Sanjaya, "PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY* DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN MINYAK DIESEL DAN BIODIESEL *CALOPHYLLIUM INOPHYLLUM*," 2015.