

Pengaruh Ulir Pada Lubang Nozzle dan Karakteristik Api Pembakaran Berbahan Bakar Lpg

Muhamad Khoirul Anam^{1,*}, Ikhwanul Qiram¹, Adi Pratama Putra¹, Anas Mukhtar¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi
Jalan Ikan Tongkol No 01, Kertosari, Banyuwangi, 68416, Jawa Timur
Email korespondensi: anamkhoirulm@unibabwi.ac.id

Abstrak

Pertambahan jumlah penduduk dan kemajuan perekonomian di Indonesia mengakibatkan kebutuhan akan bahan bakar di negara ini semakin meningkat. Saat ini terdapat sejumlah bahan bakar alternatif yang tersedia untuk mengurangi kebutuhan bahan bakar minyak. Gas minyak cair, atau LPG, adalah salah satu bahan bakar yang paling mudah didapat, murah, dan ramah lingkungan di dunia. Selain menstabilkan proses pembakaran, desain geometris burner atau dinamika aliran yang terlihat pada struktur aliran api non-premix sangat penting untuk pencampuran bahan bakar dan udara. Mengetahui pengaruh nozzle berulir terhadap karakteristik nyala api pembakaran bahan bakar LPG (liquified petroleum gas) menjadi tujuan penelitian ini. Untuk menciptakan desain pembakaran yang efektif dan efisien, variasi ulir dapat digunakan untuk menentukan sifat nyala api pembakaran premix, seperti kestabilan nyala api dan suhu pembakaran. Variasi ulir dapat mengetahui karakteristik api pembakaran difusi yang meliputi kesetabilan api dan temperatur pembakaran sehingga didapatkan suatu desain burner yang efektif dan efisien. Pada penelitian ini menggunakan rasio campuran bahan bakar dan udara dengan laju aliran udara dan bahan bakar sebanyak 2 LPM udara :2 LPM bahan bakar, 2 LPM udara :3 LPM bahan bakar, 3 LPM udara:4 LPM bahan bakar, 4 LPM udara:5 LPM bahan bakar, dan 5 LPM udara:6 LPM bahan bakar yang menghasilkan perbedaan suhu terhadap bentuk nozzle. Untuk pengambilan data masing-masing pengujian menggunakan rentang waktu selama 5 menit. Nozzle yang digunakan ada dua yaitu nozzle menggunakan ulir dan nozzle yang tidak menggunakan ulir. Temuan pengumpulan data pada penelitian ini menunjukkan bahwa nozel dengan ulir memiliki nilai suhu yang lebih besar dibandingkan nozel tanpa ulir.

Kata kunci: pembakaran, nosel, gas minyak cair

Abstract

Given Indonesia's growing population and economic development, the country is experiencing a greater need for fuel. There are now a number of alternative fuels available to lessen the ongoing need on fuel oil. One of the most affordable, cleaner, and readily available fuels worldwide is liquefied petroleum gas, or LPG. The geometric design of the burner, the flow dynamics contained in the non-premix flame flow structure and its function to stabilize the combustion process play an important role in the mixing process between fuel and air. The purpose of this research is to ascertain how nozzle thread changes affect the flame characteristics of burning LPG (liquified petroleum gas) fuel. In this study, a fuel and air mixture ratio was used with air and fuel flow rates of 2 LPM air: 2 LPM fuel, 2 LPM air: 3 LPM fuel, 3 LPM air: 4 LPM fuel, 4 LPM air: 5 LPM of fuel, and 5 LPM of air: 6 LPM of fuel which produces a temperature difference in the shape of the nozzle. To collect data for each test, a time span of 5 minutes was used. There are two nozzles used, namely a nozzle using a thread and a nozzle that does not use a thread. In order to create an effective and efficient burner design, thread variations can be used to establish the properties of the diffusion combustion flame, such as flame stability and combustion temperature. Data collecting findings indicate that nozzles with threads have a greater temperature value than nozzles without threads. The proportion of.

Keywords: combustion, nozzle, liquified petroleum gas

1. Pendahuluan

Cadangan minyak di Indonesia dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan bahan bakar dan jumlah penduduk [1],[2]. Ada beberapa metode untuk mengganti bahan bakar minyak dengan bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada minyak berkelanjutan. [3],[4]. Gas alam merupakan bahan bakar yang dapat dimanfaatkan, salah satu bahan bakar yang mudah didapat adalah LPG selain mudah terbakar, juga mudah didapat [5],[6]. LPG memberikan keunggulan dibandingkan bahan bakar

lainnya, seperti nilai kalor yang lebih besar, nilai oktan yang lebih rendah, dan emisi gas buang yang lebih rendah, maka LPG merupakan bahan bakar alternatif yang umum digunakan. [7],[8],[9]. Stabilitas api sangat penting dalam suatu proses pembakaran karena menjaga kualitas pembakaran. [10],[11],[12]. Suhu api juga dipengaruhi oleh terlalu banyak udara, sehingga menurunkan efisiensi pembakaran dan menurunkan suhu api [13],[14]. Rasio ekivalensi, yang mempengaruhi kecepatan pembakaran, merupakan hal yang paling penting untuk menampilkan proses pembakaran

[15],[16],[17]. Faktor utama yang mempengaruhi laju pembakaran adalah susunan kombinasi reaktan. [18],[19]. Hal ini disebabkan nyala api hanya akan menyebar hingga konsentrasi kombinasi tertentu. Geometri burner merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pembakaran karena disitulah berlangsungnya reaksi pembakaran. [20],[21]. Untuk efisiensi pembakaran yang tinggi, prosedur pencampuran reaktan sangat penting. Sifat turbulensi aliran dipengaruhi oleh pencampuran yang berlangsung. Geometri burner sangat penting untuk memadukan bahan bakar dan udara, menjadi penyebab terjadinya pusaran pada aliran bahan bakar dan udara. [10].

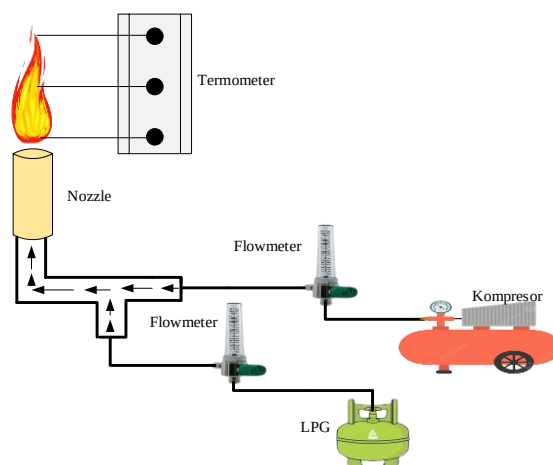
Ketika reaktan dicampur selama pembakaran, pola aliran pusaran sangat penting. Bahan bakar dan udara diyakini dapat dicampur dengan menambahkan kekasaran permukaan pada nosel [22]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ulir (screw) pada nozzle terhadap karakteristik api pembakaran bahan bakar LPG dengan rentang waktu pada masing-masing pengujian selama 5 menit. Pembakaran yang diterapkan pada penelitian ini adalah pembakaran premix dimana bahan bakar dan udara bercampur terlebih dahulu sebelum dialirkan ke dalam ruang bakar dan kemudian setelah tercampur dialirkan ke dalam ruang bakar. Untuk menciptakan desain nosel yang efektif dan efisien, dapat digunakan penambahan ulir pada lubang nosel untuk menentukan parameter nyala api pembakaran, seperti kestabilan nyala api dan suhu pembakaran.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan sistem pembakaran premix dengan menggunakan variasi nozzle standart dan nozzle berulir, saluran bahan bakar dengan saluran udara dibuat secara terpisah. Bahan bakar gas yang berasal dari dalam tabung LPG dialirkan melalui flowmeter yang mengatur besarnya laju aliran gas yang akan memasuki nozzle, udara yang digunakan melalui kompresor dan dialirkan ke flowmeter untuk mengatur besarnya laju aliran udara. Kemudian gas LPG yang mengalir ke nozzle dinyalakan dan udara akan dicampurkan sebelum api menyala. Untuk melihat kesetabilan api, gambar api dividio dengan menggunakan kamera, pengukuran suhu api menggunakan termochople dengan 3 titik pengukuran atas, bawah dan tengah. Susunan peralatan uji utama dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 1.

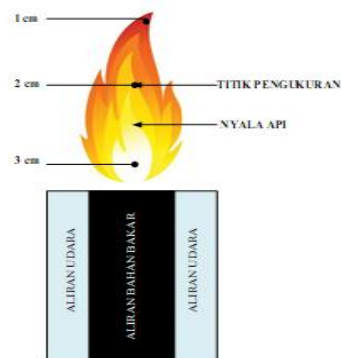
Kesetabilan api diawali dengan melakukan penyalaan pada kompresor udara dan mengukur kecepatan udara yang disesuaikan menggunakan flowmeter. Selanjutnya memasang nozzle dengan variasi ulir kemudian melanjutkan dengan membuka aliran bahan bakar dengan menggunakan alat flowmeter. Kecepatan bahan bakar akan dikonversikan, setelah melakukan pengkonversian aliran bahan bakar

diperbesar untuk mencapai kondisi lift off dan blow off. Pengujian kesetabilan api dengan menggunakan ulir pada lubang nozzle akan dilakukan pengolahan dan mengambil kesimpulan. Temperatur api yang diuji pada nozzle dengan menggunakan ulir dilakukan hingga selesai kemudian menggantikan nozzle dengan yang tidak menggunakan ulir. Pengujian pada penelitian ini adalah melakukan tahap pertama untuk menyalakan api dan mengatur kecepatan campuran bahan bakar dan udara pada kondisi stabil. Kemudian termokopel dipasang pada titik pengukuran yang telah ditentukan seperti gambar 2.

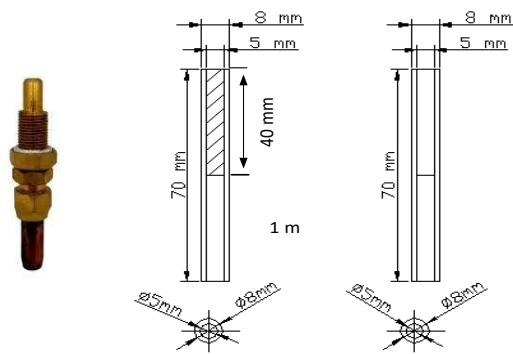


Gambar 1. Skema penelitian

Pengukuran menggunakan arah vertikal dengan jarak yang ditentukan yaitu 1 cm, 2cm, dan 3 cm kemudian dilakukan pengujian dengan arah horizontal. Data tersebut akan diolah untuk menganalisa pengaruh ulir yang digunakan pada lubang nozzle dan laju aliran bahan bakar LPG. Bentuk Nozzle pada penelitian ini menggunakan diameter dalam 0,5 mm, diameter luar pada ulir 0,8 mm, tinggi nozzle 0,70 mm, tinggi lubang nozzle yang menggunakan ulir 0,40 mm, jarak pins pada ulir 0,1 mm. Skema pada nozzle dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Titik tinjau temperatur api



Gambar 3. Nozzle menggunakan ulir dan tidak menggunakan ulir

3. Hasil dan Pembahasan

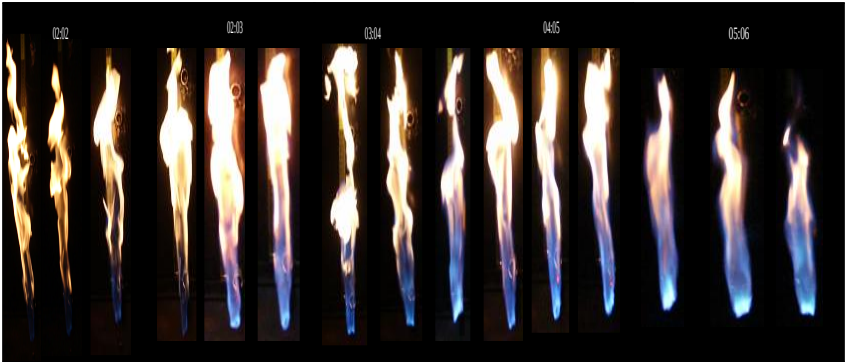
Data yang diperoleh dari penelitian seperti kecepatan udara yang diukur dengan flowmeter dan kecepatan aliran bahan bakar yang diukur dengan flowmeter. Data kecepatan aliran udara dan kecepatan aliran bahan bakar dibuat dalam diagram kestabilan api. Dari data-data visualisasi dapat diplot dalam diagram lift off maupun blow off, dengan tujuan mengetahui karakteristik api pada berbagai kondisi sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada api. Masing-masing data menunjukkan karakteristik api dengan pengaruh penggunaan berbagai macam variasi kecepatan udara dan bahan bakar.

Data temperatur hasil pengujian diolah menjadi grafik kemudian dilakukan analisa. Grafik distribusi temperatur dengan variasi dibuat untuk mengetahui distribusi temperatur pada titik-titik pengujian. Data

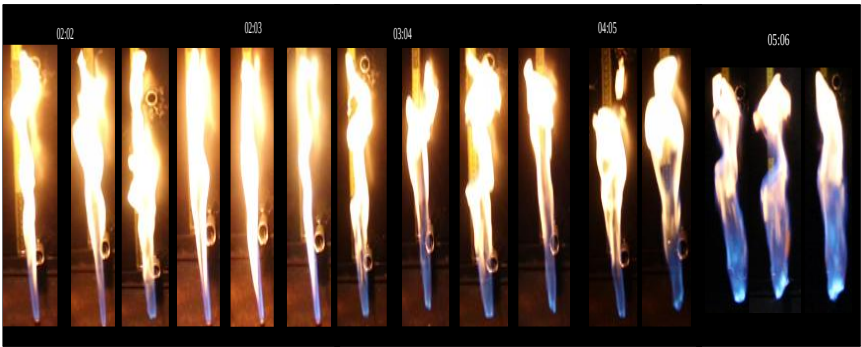
Temperatur Api dapat dilihat pada tabel 1. Gambar api pada nozzle menggunakan ulir dengan perbandingan bahan bakar dan udara dapat dilihat pada gambar 4. Gambar api pada nozzle tidak menggunakan ulir dengan perbandingan bahan bakar dan udara dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 1. Temperatur Api

Variasi lubang lozzle	Campuran bahan bakar dan udara (LPM)	Temperatur Api (°C)		
		Bawah	Tengah	Atas
Nozzle Screw	2:2	676	657	546
	2:3	758	667	574
	3:4	776	717	617
	4:5	781	731	620
	5:6	789	739	627
Standard Nozzle	2:2	690	556	501
	2:3	703	629	560
	3:4	714	691	589
	4:5	778	719	597
	5:6	779	721	598



Gambar 4. Api menggunakan ulir

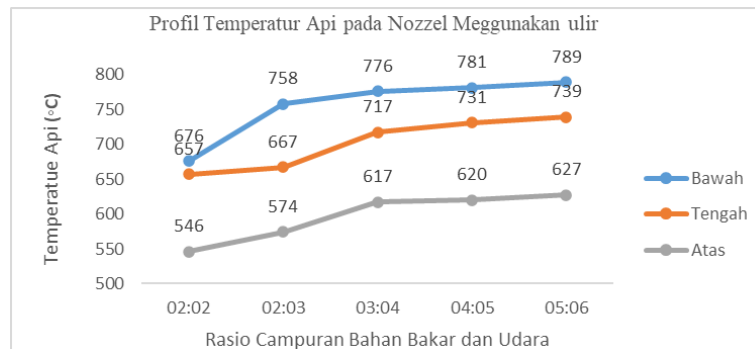


Gambar 5. Api tidak menggunakan ulir

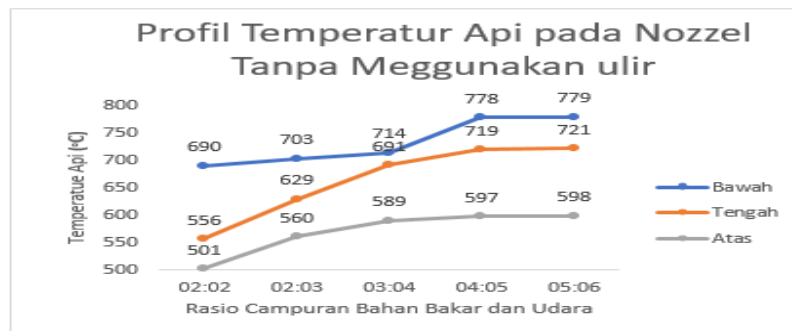
Grafik yang dihasilkan dari distribusi temperatur ini menunjukkan nilai dari tiap-tiap perbandingan bahan bakar dan udara dengan cara membandingkan temperature. Hasil penelitian eksperimen menunjukkan bahwa nozzle yang menggunakan ulir nilai suhu yang dihasilkan lebih tinggi dari nozzle yang tidak menggunakan ulir seperti yang ditunjukan pada gambar 6 dan gambar 7, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana kekasaran permukaan pada lubang nozzle berpengaruh pada karakteristik nyala api dan suhu api [22],[23],[24]. Pada gambar 6. dapat diamati nilai suhu tertinggi dengan menggunakan ulir 789°C dengan perbandingan udara 05 LPM dan bahan bakar 06 LPM. Sedangkan nilai suhu terendah yang didapat adalah 546°C dengan perbandingan 02 LPM udara dan 02 LPM bahan bakar.

Pada gambar 7. dapat diamati nilai suhu tertinggi dengan menggunakan ulir 779°C dengan perbandingan udara 05 LPM dan bahan bakar 06 LPM.

LPM. Sedangkan nilai suhu terendah yang didapat adalah 501°C dengan perbandingan 02 LPM udara dan 02 LPM bahan bakar. Adapun grafik luas warna api menunjukkan nilai dari prosentase, ada tiga prosentase warna api yaitu api biru, kuning, dan merah. Pada nozzle dengan menggunakan ulir diperoleh nilai api biru tertinggi dengan nilai 31.22 m², api kuning dengan nilai tertinggi 252.53 m², dan api merah dengan nilai tertinggi 20.11 m². Pada nozzle yang tidak menggunakan ulir diperoleh nilai api biru dengan nilai tertinggi 12.99 m², nilai api kuning dengan nilai tertinggi 483.37 m², dan api merah dengan nilai terbesar 22.76 m². Dari nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai api biru pada nozzle dengan menggunakan ulir lebih besar dari nozzle yang tidak menggunakan ulir dan nilai api kuning lebih didominasi oleh nozzle yang tidak menggunakan ulir hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan kekasaran pada lubang nozzle sangat berpengaruh pada karakteristik nyala api seperti yang ditunjukan pada gambar 8.

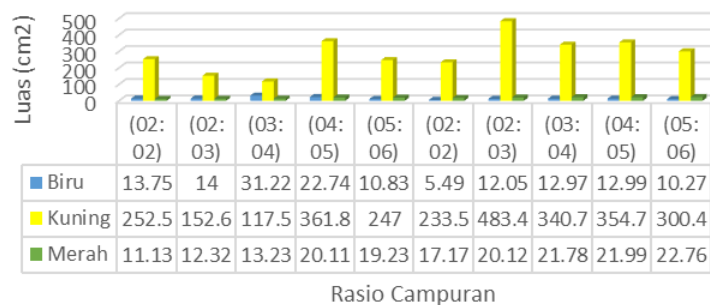


Gambar 6. Grafik temperatur api pada nozzle menggunakan ulir



Gambar 7. Grafik temperatur api pada nozzle tanpa menggunakan ulir

Perbandingan Luas Warna Api



Gambar 8. Grafik perbandingan luas warna api

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil yang ditunjukkan pada penelitian ini bahwa nozzle yang menggunakan ulir memiliki nilai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan nozzle yang tidak menggunakan ulir. Nilai yang didapat pada pengukuran suhu pada nozzle menggunakan ulir tertinggi di titik bawah 789°C, pengukuran tengah 738°C, dan pengukuran atas 627°C seperti yang ditunjukkan pada gambar 6, sedangkan jika dibandingkan dengan nozzle yang tidak menggunakan ulir dengan menghasilkan temperatur pada pengukuran suhu tertinggi di titik bawah 779 °C, pengukuran tengah 721 °C, dan pengukuran atas 598°C seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, hal ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan yang berupa ulir pada nozzle, kekasaran permukaan dapat mengakibatkan turbulensi pada aliran fluida sehingga aliran bahan bakar dan udara bisa tercampur lebih sempurna dari pada nozzle yang tidak menggunakan ulir sehingga karakteristik suhu yang didapatkan pada nozzle menggunakan ulir lebih besar dibandingkan dengan nozzle yang tidak menggunakan ulir . Karakteristik pada pengukuran suhu api pada nozzle yang menggunakan ulir menghasilkan suhu yang cenderung tinggi dibandingkan dengan nozzle yang tidak menggunakan ulir, hal ini dikarenakan adanya turbulensi di dalam nozzle yang bisa membuat campuran bahan bakar dan udara lebih efisien.

2. Prosentase warna nyala api berpengaruh terhadap kualitas nyala api pembakaran premix, semakin terang warna nyala api maka kualitas nyala api semakin baik. Perbedaan warna api bisa dipengaruhi karena adanya perbedaan campuran udara dan bahan bakar, api yang berwarna lebih terang memiliki temperature dan luas warna yang lebih tinggi dalam penelitian ini diperoleh data luas warna api dengan nilai rata-rata-rata api biru pada nozzle yang menggunakan ulir dengan nilai 18,508 cm² sedangkan nilai luas warna api biru pada nozzle yang tidak menggunakan ulir diperoleh nilai rata-rata dengan nilai 10,754 cm². Karakteristik dari prosentasi nyala api menunjukkan bahwa nozzle yang menggunakan ulir luas warna api birunya lebih tinggi dibandingkan dengan luas warna api biru nozzle yang tidak menggunakan ulir hal ini dikarenakan campuran bahan bakar dan udara pada nozzle yang menggunakan ulir lebih efisien dikarenakan ada turbulensi di dalam nozzle.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Universitas PGRI Banyuwangi dan berbagai pihak yang telah membantu dalam peneiltain ini, sehingga peneliti dapat melaksanakan penelitian ini dengan lancar.

Daftar Pustaka

- [1] A. M. Safitri, K. Anwar, dan T. Abbas, "PENGARUH HARGA MINYAK DUNIA, INFLASI, DAN EKSPOR NETO TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI DI INDONESIA," *Jurnal Ekonomi Regional Unimal*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jul 2022, doi: 10.29103/jeru.v5i1.7917.
- [2] L. Rahmayanti, D. M. Rahmah, dan L. Larashati, "ANALISIS PEMANFAATAN SUMBER DAYA ENERGI MINYAK DAN GAS BUMI DI INDONESIA," *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Jan 2023, Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.uns.ac.id/jsei/article/view/70898>
- [3] O. P. J. Ramadhani, L. B. A. Putri, A. I. Cahyani, W. Wiranto, dan A. Solchan, "Braja: Briket Daun Jati Solusi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil," *Jurnal Inovasi Daerah*, vol. 2, no. 1, hlm. 145–153, 2023.
- [4] T. Attallasyah dkk., "Karakterisasi untuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Menggunakan Gas Hasil Gasifikasi dan Minyak Solar," *Jurnal Majemuk*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Jan 2024.
- [5] "Evolusi Sistem Bahan Bakar LPG: Tinjauan Literatur | Jurnal Rekayasa Mesin." Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/556>
- [6] M. Nasution, "Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature," *JTS*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Nov 2020, doi: 10.30651/ag.v5i2.6599.
- [7] R. W. K. Bratha dan N. R. Putri, "Inovasi Teknologi Pirolisis Sederhana Pengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (KEROSENE)," *Jurnal Studi Inovasi*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Apr 2023, doi: 10.52000/jsi.v3i2.132.
- [8] S. Pasaribu, "Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Peralite dengan Gas LPG Pada Sepeda Motor 110 CC," *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, vol. 9, no. 6, Art. no. 6, Des 2021, Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ijcoreit.org/index.php/coreit/article/view/297>
- [9] "Perhitungan Energi yang Dibutuhkan Gas HHO dalam Pematangan Air Sebagai Sumber Energi Alternatif | Innovative: Journal Of Social Science Research." Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/8897>
- [10] "Pengaruh Lip Thickness Turncated Nozzle Sudut Luar terhadap Karakteristik Api Difusi Concentric Jet Flow | Jurnal Rekayasa Mesin." Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia

- pada:
<https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/472>
- [11] D. Perdana, “Pengaruh Variasi Arah Medan Magnet Pembakaran Premixed Minyak Nabati terhadap Karakteristik Nyala Api pada Tungku Industri,” *TEKNIK*, vol. 43, no. 3, hlm. 280–286, Des 2022, doi: 10.14710/teknik.v43i3.39701.
- [12] Y. A. Ngamel dan N. A. Uwar, “Karakteristik Pembakaran CH_4 dengan Penambahan CO_2 untuk Model Sel Helle-Shaw pada Penyalan Atas,” *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, vol. 4, no. 1, hlm. 60–73, Jun 2020, doi: 10.31289/jmemme.v4i1.3792.
- [13] “Sistem Pemantauan dan Kendali Kelembapan Udara Pada Budi Daya Bunga Anggrek Berbasis Internet of Things | Aminah | JURIKOM (Jurnal Riset Komputer).” Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom/article/view/5250>
- [14] Y. Chen dkk., “Pool fire dynamics: Principles, models and recent advances,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 95, hlm. 101070, Mar 2023, doi: 10.1016/j.pecs.2022.101070.
- [15] “Pengaruh Jenis dan Ukuran Biomassa terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan Downdraft Gasifier | Jurnal Rekayasa Mesin.” Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/502>
- [16] A. Y. Tobe, D. B. N. Riwu, J. C. A. Pah, D. G. H. Adoe, dan R. Baitanu, “Temperatur, Warna Nyala Api, dan Tinggi Api pada Pembakaran Premixed Bioetanol dari Lontar (*Borassus Flabellifer*),” *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, vol. 9, no. 01, Art. no. 01, Apr 2022, doi: 10.35508/ljtmu.v9i01.8062.
- [17] L. Yuliati, F. G. U. Dewi, dan I. Amarullah, “Pengaruh persentase CO_2 terhadap temperatur dan kecepatan api premixed laminar pada oxy-butane combustion,” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 18, no. 1, Art. no. 1, Apr 2023, doi: 10.36289/jtmi.v18i1.428.
- [18] M. N. Sasongko, “Pengaruh Prosentase Minyak Goreng Bekas Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel,” *FLYWHEEL : Jurnal Teknik Mesin Untirta*, vol. 2, no. 1, hlm. 8–13, Okt 2018, doi: 10.36055/fwl.v2i1.3656.
- [19] “Karakteristik Pembakaran Campuran Batubara dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menggunakan Analisis Termogravimetri Deferensial Temperatur (TG-DTA) | G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan.” Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.uniramalang.ac.id/index.php/g-tech/article/view/4515>
- [20] R. T. Dewa, A. Aulia, E. I. Bhifttime, A. N. S. Permata, I. Farida, dan R. Shiraj, “Perancangan Mutakhir Material Propelan Padat dengan Metode Pembuatan Prototipe Cepat,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 1, Art. no. 1, Apr 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i1.3877.
- [21] M. Furqon dan D. Sugiyana, “Pengaruh Karakteristik Batubara Dan Proses Pembakaran Pada Boiler Batubara Bubuk (Pulverized Coal) Terhadap Emisi Nox Di Industri Tekstil,” *Arena Tekstil*, vol. 27, no. 1, hlm. 53805, 2012, doi: 10.31266/at.v27i1.1161.
- [22] M. K. Anam, M. Kustanto, dan S. Junus, “The characteristics of liquified petroleum gas (LPG) combustion through a screw nozzle,” dalam *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2023. Diakses: 6 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2694/1/070001/2886808>
- [23] Muhammad Firmansyah, Ikhwani Qiram, Gatut Rubiono, “Pengaruh Variasi Kekasaran Lubang Nozzle Dengan Campuran Bahan Bakar Pertalite dan Spiritus Terhadap Karakteristik Nyala Api” *Jurnal V-Mac*, Vol6 No.2:57 - 60, 2021, ISSN2528-0112(online)
- [24] Jon Runyon, Anthony Giles, Richard Marsh, Daniel Pugh, Burak Goktepe, Philip Bowen, Steve Morris. “Characterization of Additive Layer Manufacturing Swirl Burner Surface Roughness and Its Effects on Flame Stability Using High-Speed Diagnostics” *J. Eng. Gas Turbines Power*. Apr 2020, 142(4): 041017 (11 pages) Paper No: GTP-19-1389 <https://doi.org/10.1115/1.4044950> Published Online: February 4, 2020.