

MANUFAKTURING DAN ANALISIS PENGUJIAN MATERIAL *BURNER* KOMPOR BERBAHAN BAKAR BIOETANOL

Angelina Permatasari Waluyo Putri

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: angelinapermatasari.21004@mhs.unesa.ac.id

Handini Novita Sari

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: handinisari@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada manufaktur dan analisis pengujian material burner kompor berbahan bakar bioetanol dengan membandingkan dua jenis material, yaitu kuningan dan *Stainless Steel 304*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi material terhadap sifat mekanik dan struktur mikro burner, serta mengkaji pengaruh desain pola lubang terhadap karakteristik pembakaran. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan kuantitatif yang meliputi proses manufaktur burner, pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*, serta analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dan perangkat lunak *ImageJ*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Stainless Steel 304* memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 241,88 VHN, lebih tinggi dibandingkan kuningan sebesar 149,68 VHN. Analisis mikrostruktur mengungkapkan bahwa kedua material didominasi oleh fasa perlit, dengan kuningan menunjukkan struktur yang lebih homogen dan bersifat lebih ulet. Hasil *Water Boiling Test* (WBT) menunjukkan bahwa burner berbahan kuningan memiliki performa pemanasan yang lebih baik, dengan waktu tercepat diperoleh pada burner KM (kuningan dengan pola lubang merata) sebesar 10 menit, sedangkan waktu terlama terjadi pada burner SL (*Stainless Steel 304* dengan pola lubang melingkar) sebesar 20 menit. Sejalan dengan hasil tersebut, pola lubang merata menghasilkan distribusi nyala api yang lebih seragam dibandingkan pola lubang melingkar.

Kata kunci: manufaktur, material, burner, uji kekerasan, uji mikro struktur.

Abstract

This study focuses on the manufacturing and material performance analysis of bioethanol stove burners by comparing two materials, namely brass and Stainless Steel 304. The objective of this research is to analyze the effect of material variation on the mechanical properties and microstructure of the burner, as well as to evaluate the influence of hole pattern design on combustion characteristics. An experimental quantitative approach was employed, including burner fabrication, Vickers hardness testing, and microstructural analysis using optical microscopy and ImageJ. The results show that Stainless Steel 304 exhibits a higher average hardness value of 241.88 VHN compared to brass at 149.68 VHN. Microstructural analysis reveals that both materials are dominated by pearlite phases, with brass exhibiting a more homogeneous and ductile structure. The Water Boiling Test (WBT) results indicate that brass burners provide better heating performance, with the fastest boiling time achieved by the KM burner (brass with a uniform hole pattern) at 10 minutes, while the longest boiling time occurred in the SL burner (Stainless Steel 304 with a circular hole pattern) at 20 minutes. In line with these findings, the uniform hole pattern produces a more uniform flame distribution than the circular hole pattern.

Keywords: manufacturing, material, burner, hardness test, microstructure test.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi alternatif menjadi salah satu isu penting dalam pengembangan teknologi energi saat ini, seiring dengan meningkatnya konsumsi energi dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Peralihan dari energi fosil menuju energi terbarukan diperlukan untuk menjamin keberlanjutan pasokan energi, sebagaimana dijelaskan oleh Setyono & Kiono, (2021) bahwa ketergantungan terhadap bahan bakar fosil memiliki dampak lingkungan dan ekonomi yang signifikan. Salah satu bahan bakar terbarukan yang berpotensi dikembangkan adalah bioetanol, yang menurut (Fahmi dkk., 2022) memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan bahan baku dan emisi gas buang yang relatif lebih rendah.

Bioetanol telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pada sektor rumah tangga, khususnya

dalam bentuk kompor bioetanol. Novitasari, (2016) menyatakan bahwa kompor bioetanol dapat menjadi alternatif pengganti kompor minyak tanah dan LPG dalam skala kecil. Hal ini diperkuat oleh penelitian Okusanya dkk, (2019) dan Mambo dkk, (2024) yang menunjukkan bahwa performa kompor bioetanol cukup kompetitif ditinjau dari efisiensi dan kestabilan pembakaran.

Performa kompor bioetanol sangat ditentukan oleh kualitas proses pembakaran yang terjadi pada burner. (Andy Kristanto, 2020) menjelaskan bahwa karakteristik pembakaran bahan bakar cair sangat dipengaruhi oleh desain ruang bakar dan media pembakaran. Selain itu, Ibrahim dkk, (2024) menekankan bahwa sifat material burner, seperti konduktivitas termal dan ketahanan terhadap temperatur tinggi, berperan penting dalam menjaga kestabilan nyala api dan efisiensi termal kompor.

Selain faktor material, desain geometris burner khususnya pola dan jumlah lubang pembakaran turut memengaruhi distribusi bahan bakar dan udara. (Ridhuan & Darma, 2017) melaporkan bahwa variasi jumlah lubang burner dapat memengaruhi efisiensi pembakaran secara signifikan. Penelitian lain oleh Pambudi dkk, (2019) serta Charisma dkk, (2021) juga menunjukkan bahwa perubahan diameter dan pola lubang burner berdampak langsung terhadap karakteristik nyala api dan konsumsi bahan bakar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendesain, memanufacturing, dan menganalisis pengaruh variasi material *burner* (kuningan dan *Stainless Steel 304*) dengan dengan pengujian kekerasan dan mikro struktur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan burner kompor bioetanol yang lebih efisien dan stabil.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. *Burner* divariasikan berdasarkan material (kuningan dan *Stainless Steel 304*) dan pola lubang (melingkar dan merata). Parameter yang diuji meliputi kekerasan material, mikrostruktur dari material kuningan dan *Stainless steel 304*.

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu Penelitian penelitian dilakukan setelah seminar proposal tugas akhir yang telah disetujui oleh tim penguji yaitu mulai Mei 2025 sampai Januari 2026. Penelitian dilakukan di Universitas Muhammadiyah Malang.

Alat dan Bahan Penelitian

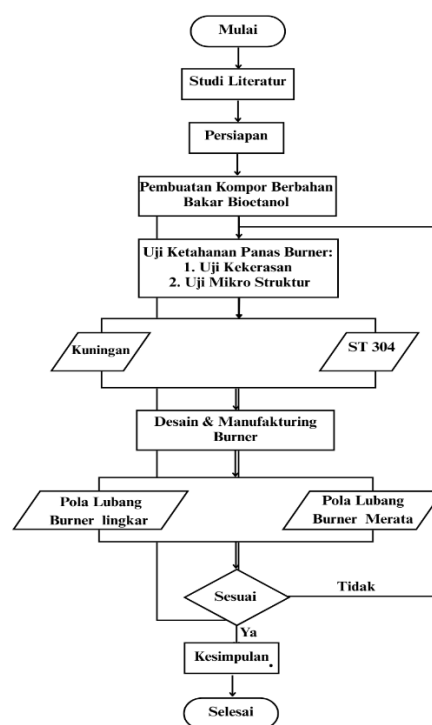
1. Alat Manufakturing

Alat yang digunakan dalam proses manufakturing burner meliputi mesin bubut untuk membentuk geometri utama burner sesuai desain yang direncanakan, mesin bor yang dilengkapi mata bor berdiameter 2 mm untuk pembuatan lubang burner, serta gerinda tangan yang digunakan pada tahap akhir untuk perapihan permukaan hasil pemesinan. Pengukuran dimensi burner dilakukan menggunakan jangka sorong guna memastikan kesesuaian ukuran terhadap spesifikasi yang telah ditentukan.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bioetanol sebagai bahan bakar serta material burner berupa *Stainless Steel 304* dan kuningan.

Rancangan Penelitian



Variabel penelitian

- Variabel Bebas
 - Material yang digunakan adalah material *Stainless steel 304* dan kuningan
- Variabel Terikat
 - uji kekerasan dan mikro struktur pada material burner.
- Variabel Kontrol
 - Kompor yang digunakan kompor bioetanol
 - Material yang digunakan *stainless steel 304* dan kuningan
 - Jumlah lubang burner 18

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan mikrostruktur, material burner *Stainless Steel 304* dan kuningan terlebih dahulu diberikan perlakuan panas berupa proses *annealing* untuk mengurangi tegangan sisa akibat proses manufakturing. Proses *annealing* pada material kuningan dilakukan pada temperatur 500 °C dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit, sedangkan material *Stainless Steel 304* dianil pada temperatur 100 °C dengan waktu penahanan selama 15 menit, kemudian didinginkan secara alami hingga mencapai suhu ruang.

1. Pengujian Kekerasan

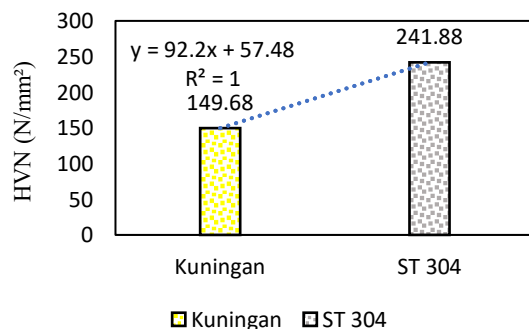
Kekerasan adalah kemampuan material logam untuk menahan penetrasi, sedangkan kekuatan merupakan kemampuan material dalam menahan tegangan tanpa

mengalami patah. Kedua sifat mekanik ini menunjukkan kemampuan material menerima beban tanpa mengalami kerusakan (Rauf dkk., 2018). Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers pada masing-masing material burner setelah melalui proses annealing. Pengujian dilakukan pada lima titik pengukuran untuk setiap material guna memperoleh nilai kekerasan yang representatif. Hasil pengujian kekerasan material kuningan dan *Stainless Steel 304* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Material Kuningan dan *Stainless Steel 304*

Spesiment		d ₁	d ₂	VHN	VHN rata ²
<i>Stainless Steel SS 304</i>	1	54,6	65,63	256,6	241,88
	2	62,77	60,14	245,5	
	3	62,83	58,95	250,1	
	4	60,15	65,02	236,7	
	5	64,8	64,88	220,5	
Kuningan	1	78,69	83,65	140,7	149,68
	2	72,48	75,36	169,7	
	3	76,06	78,26	155,7	
	4	81,79	77,73	145,7	
	5	82,61	82,61	136,6	

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Vickers yang disajikan pada Tabel 1, material *Stainless Steel 304* menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material kuningan. Nilai kekerasan *Stainless Steel 304* berada pada rentang 220,5–256,6 VHN, dengan nilai rata-rata sebesar 241,88 VHN, sedangkan material kuningan memiliki nilai kekerasan pada rentang 136,6–169,7 VHN, dengan nilai rata-rata sebesar 149,68 VHN. Perbedaan nilai kekerasan ini menunjukkan adanya perbedaan sifat mekanik yang signifikan antara kedua material burner. Untuk memperjelas perbandingan nilai kekerasan antara material kuningan dan *Stainless Steel 304*, hasil pengujian pada Tabel 1 selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 1. Pada Gambar 1. Grafik tersebut menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara nilai kekerasan material kuningan dan *Stainless Steel 304*, di mana *Stainless Steel 304* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan kuningan



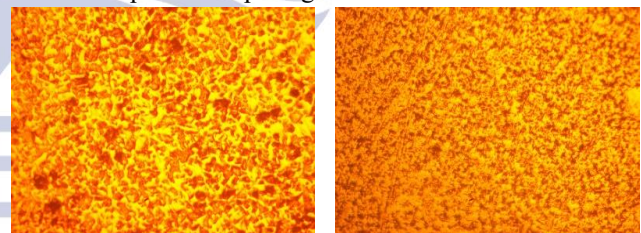
Gambar 1. Perbandingan Nilai Kekerasan *Stainless Steel 304* dan Kuningan pada Pengujian *Mikro Vickers*

Berdasarkan grafik, nilai kekerasan rata-rata material kuningan sebesar 149,68 VHN, sedangkan *Stainless Steel 304* mencapai 241,88 VHN. Perbedaan nilai ini memperlihatkan kecenderungan peningkatan kekerasan yang signifikan dari material kuningan ke *Stainless Steel 304*. Garis (*trendline*) yang ditampilkan pada grafik menunjukkan hubungan *linear* dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 1$, yang mengindikasikan bahwa perbedaan nilai kekerasan yang terjadi sepenuhnya dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan.

Kemiringan garis kecenderungan pada grafik mencerminkan selisih kekerasan yang cukup besar antara kedua material. Hal ini menegaskan bahwa *Stainless Steel 304* memiliki ketahanan deformasi plastis yang lebih baik dibandingkan kuningan, yang berkaitan dengan perbedaan struktur kristal dan sifat mekanik dasar kedua material. Dengan demikian, grafik kekerasan tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi data, juga memperkuat hasil pengujian yang diperoleh dari pengolahan data pada Tabel 1

2. Pengujian Mikro Struktur

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk serta distribusi butir pada material burner setelah proses annealing. Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada pembesaran 400× menggunakan mikroskop optik guna memperoleh visualisasi batas butir dan fasa yang lebih jelas, sehingga dapat mendukung analisis hubungan antara struktur mikro dan sifat mekanik material. dapat dilihat pada gambar 2.

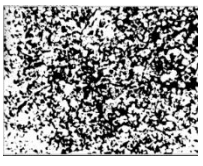
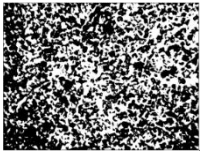


Gambar 2. a) Material *Burner Kuningan*. b) Material *Burner Stainless Steel 304*

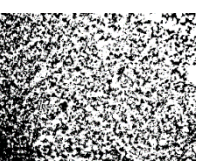
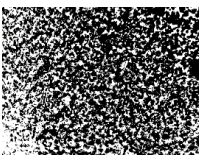
Gambar 2 menunjukkan karakteristik mikrostruktur material kuningan dan *Stainless Steel 304* setelah proses annealing pada pembesaran 400×. Pada material kuningan tampak perbedaan kontras yang membentuk daerah terang dan gelap dengan distribusi yang relatif merata, yang menunjukkan keberadaan fasa dominan pada mikrostruktur material. Sementara itu, mikrostruktur *Stainless Steel 304* memperlihatkan struktur yang lebih homogen dengan batas butir yang lebih halus, yang mengindikasikan kestabilan struktur mikro setelah perlakuan panas. Karakteristik mikrostruktur yang ditunjukkan secara visual pada Gambar 2 selanjutnya dianalisis secara kuantitatif menggunakan

perangkat lunak *ImageJ* untuk memperoleh informasi numerik mengenai distribusi fasa dan ukuran butir. Hasil analisis kuantitatif mikrostruktur material kuningan dan *Stainless Steel 304* disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Tabel Hasil Analisa Mikro Struktur Material Kuningan

Pearlitee	Count	Total Area	Average Size	% Area	Mean
	1964	2.855.789	1.454.068	56.675	255
Feritee	Count	Total Area	Average Size	% Area	Mean
	4576	2.183.059	477.067	43.325	255

Tabel 3. Tabel Hasil Analisa Mikro Struktur Material *Stainless Steel 304*

Pearlitee	Count	Total Area	Average Size	% Area	Mean
	2976	2.863.160	962.083	56.822	255
Feritee	Count	Total Area	Average Size	% Area	Mean
	4998	2.175.688	435.312	43.178	255

Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur dan analisis kuantitatif menggunakan *ImageJ*, dapat disimpulkan bahwa kedua material burner, yaitu kuningan dan *Stainless Steel 304*, memiliki distribusi fasa yang relatif homogen setelah proses annealing. Pada material kuningan, mikrostruktur didominasi oleh fasa perlit dengan persentase luas area sebesar 56,675%, sedangkan fasa ferit sebesar 43,325%. Dominasi fasa perlit ini menunjukkan kontribusi terhadap peningkatan kekerasan material dibandingkan apabila fasa ferit lebih mendominasi, meskipun secara umum kuningan tetap memiliki sifat mekanik yang lebih ulet.

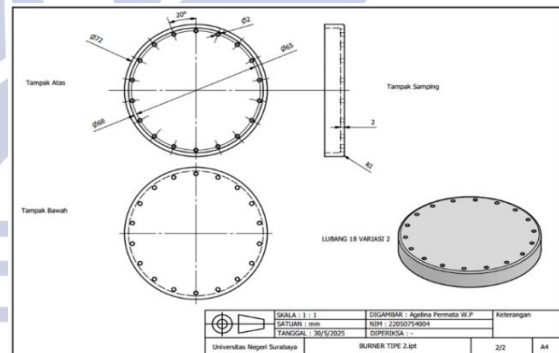
Sementara itu, material *Stainless Steel 304* juga menunjukkan dominasi fasa perlit dengan persentase luas area sebesar 56,822%, disertai dengan distribusi fasa ferit yang relatif seimbang. Struktur mikro *Stainless Steel 304* tampak lebih homogen dengan ukuran butir yang lebih halus, yang mengindikasikan kestabilan struktur mikro setelah perlakuan panas pada temperatur rendah. Kondisi ini berkontribusi terhadap nilai kekerasan yang lebih tinggi

pada *Stainless Steel 304* dibandingkan dengan material kuningan.

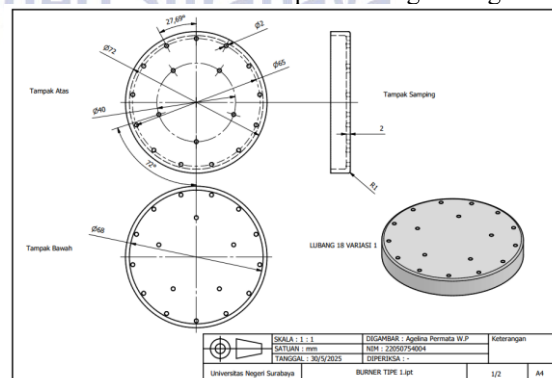
Secara keseluruhan, hasil analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa perbedaan distribusi fasa dan ukuran butir berpengaruh terhadap sifat mekanik material burner. Fasa pearlite merupakan struktur berlapis tipis yang tersusun dari kombinasi fase ferit dan fase sementit (Halimi dkk., 2024). Material dengan dominasi fasa perlit dan struktur mikro yang lebih homogen cenderung memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Dengan demikian, hasil analisis mikrostruktur ini mendukung hasil pengujian kekerasan, di mana *Stainless Steel 304* menunjukkan ketahanan deformasi yang lebih baik dibandingkan kuningan, sehingga lebih sesuai digunakan sebagai material burner pada kompor berbahan bakar bioetanol.

3. Proses Manufaktur Burner Kompor Berbahan Bakar Bioetanol

Desain burner pada penelitian ini dirancang sebagai dasar dalam proses pembuatan dan pengujian kompor berbahan bakar bioetanol dengan mempertimbangkan aspek material dan karakteristik pembakaran. Material yang digunakan dalam pembuatan burner adalah kuningan dan *Stainless Steel 304*, yang dipilih karena memiliki perbedaan sifat mekanik dan termal yang signifikan. Variasi desain burner diterapkan dalam bentuk perbedaan pola lubang, yaitu pola melingkar dan pola merata, dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi desain dan material terhadap performa burner, khususnya kestabilan nyala api dan karakteristik material setelah proses manufaktur. Desain burner yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

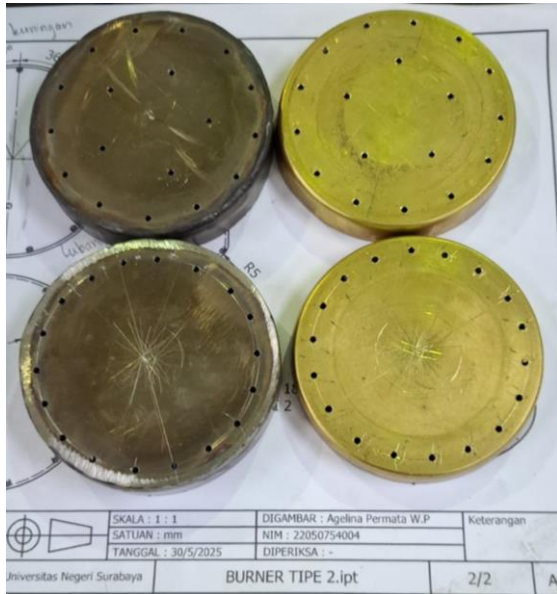


Gambar 3. Burner pola lubang melingkar



Gambar 4. Burner Pola Lubang Merata

Burner pada penelitian ini dibuat dari material kuningan dan *Stainless Steel 304* dengan diameter luar 80 mm dan ketebalan 1 mm serta memiliki 18 lubang pembakaran. Variasi desain diterapkan dalam bentuk pola lubang melingkar dan pola lubang merata untuk menganalisis pengaruh desain terhadap karakteristik pembakaran.



Gambar 4. Burner

Burner pola lingkaran memiliki susunan lubang dengan sudut antar lubang 20° , sehingga nyala api tersebar secara simetris ke seluruh arah, sedangkan burner pola lubang merata dirancang dengan distribusi lubang yang mencakup area tengah burner sehingga menghasilkan penyebaran nyala api yang lebih homogen. Kedua desain dilengkapi dengan radius lengkung 1 mm (R1) pada material kuningan maupun *Stainless Steel 304* untuk memperlancar aliran bahan bakar dan menjaga kestabilan nyala api. Berdasarkan hasil Water Boiling Test (WBT), waktu pemanasan air menunjukkan perbedaan yang signifikan pada setiap variasi burner. Burner KM (kuningan pola lubang merata) memiliki waktu pemanasan tercepat, yaitu 10 menit, diikuti burner SM (*stainless steel 304* pola merata) selama 14 menit, burner KL (kuningan pola lingkaran) selama 15 menit, dan burner SL (*stainless steel 304* pola lingkaran) sebagai yang terlama dengan waktu 20 menit. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik material dan pola lubang burner, di mana kuningan memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan *stainless steel 304*, serta pola lubang merata mampu menghasilkan distribusi nyala api yang lebih seragam sehingga perpindahan panas ke air berlangsung lebih efektif. Kombinasi material kuningan dan pola lubang merata terbukti memberikan performa pemanasan air paling optimal pada pengujian WBT.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa material *Stainless Steel 304* menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan

kuningan sebagai bahan burner kompor bioetanol dari sisi ketahanan material. Dari aspek kekerasan, *Stainless Steel 304* memiliki nilai rata-rata *Vickers* sebesar 241,88 VHN, lebih tinggi dibandingkan kuningan yang hanya mencapai 149,68 VHN, sehingga menunjukkan ketahanan deformasi yang lebih baik. Analisis mikrostruktur mengungkapkan bahwa kedua material didominasi oleh fasa pearlit, namun *Stainless Steel 304* memiliki struktur yang lebih homogen dengan ukuran butir yang lebih halus, yang berkontribusi terhadap stabilitas termal dan mekanik. Dari sisi desain burner, pola lubang merata menunjukkan kemampuan menghasilkan distribusi nyala api yang lebih merata dibandingkan pola lubang melingkar, yang berdampak positif terhadap efektivitas perpindahan panas. Hal ini didukung oleh hasil *Water Boiling Test* (WBT) yang menunjukkan bahwa burner dengan pola lubang merata memiliki waktu pemanasan air yang lebih singkat dibandingkan pola lubang melingkar. Dengan demikian, penggunaan *Stainless Steel 304* dengan pola lubang merata direkomendasikan untuk meningkatkan kestabilan pembakaran dan efisiensi pemanasan pada kompor bioetanol.

DAFTAR PUSTAKA

- Andy Kristanto, D. (2020). Pembakaran dan Karakteristik Bahan Bakar Cair. *Academia Edu*, 1(1), 1–4.
- Charisma, C. J., Suwandi, D., Si, M., Nurwulan, F., Pfi, M., Prodi, S., Fisika, T., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2021). *Pengaruh Variasi Jumlah Lubang Udara Pada Ruang Bakar Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi the Influence of Variation of Hole on the Gasifier Against the Performance of the Downdraft Type of Gasification Stoves*. 8(2), 1877–1883.
- Fahmi, I., Soelistyo, T., Maulani, M., Sasongko, N. A., & Yoesgiantoro, D. (2022). 6. Bahan Bakar Hayati Sebagai Pengganti Bahan Bakar Fosil (Biofuel: Biodiesel, Bioethanol, BioAvtur, Green Diesel, Green Gasoline, Green Avtur). *TNI Angkatan Udara*, 1(3), 51–58.
<https://doi.org/10.62828/jpb.v1i3.7>
- Halimi, A. D., Sektiono, M. W. A., Setiawan, D., & Fahmi, M. A. (2024). *Distribusi Ferrite dan Sifat Ketangguhan pada Pengaruh Media Quenching*. 6(1), 1–9.
- Ibrahim, A., Program, M., Teknologi, S., Manufaktur, R., Mesin, J. T., Lhokseumawe, P. N., Jurusan, D., Mesin, T., & Negeri, P. (2024). *Efek Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Paduan Kuningan (Cu-30Zn)*. 8(2), 118–122.
- Mambo, W., Basemera, S., Kitimbo, M., Nakiyini, J., & Kamugasha, D. (2024). Comparative Performance Evaluation of Bioethanol Stove and Alternative Cooking Technologies in Domestic Setting: Implications on Cost, Time and User Perception.

East African Journal of Science, Technology and Innovation, 5(3), 1–11.
<https://doi.org/10.37425/c6vgwt42>

Novitasari, I. S. (2016). *Perbandingan Dua Generasi Kompor Bioetanol Dengan Dua Kadar Bioetanol Sari Buah Semu Jambu Mete (Anacardium occidentale L.)*. 1–83.

Okusanya, M., Gbenga, I., B, O. C., Author, C., & A, O. M. (2019). *The Use of Ethanol Gel Cook-Stove as a more Accessible Alternative Cooking Energy*. October, 15–22.
www.ijesi.org/%7C%7CVolume8www.ijesi.org

Pambudi, P., Widodo, S., & Suharno, K. (2019). Pengaruh Variasi Jumlah Lubang Udara Terhadap Efisiensi Kompor Biomassa. *Jurnal Mer-C*, 2(1), 1–7.
<https://jom.untidar.ac.id/index.php/merc/article/view/468>

Rauf, F. A., Sappu, F. P., Lakat, A. M. A., Teknik, J., Universitas, M., & Ratulangi, S. (2018). *Microhardness Vickers Pada Berbagai Jenis Material Teknik*. 5, 21–24.

Ridhuan, K., & Darma, E. S. (2017). Variasi Jumlah Lubang Dan Ukuran Diameter Burner Kompor Premium Terhadap Konsumsi Bahan Bakar. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(2), 113–121.
<https://doi.org/10.24127/trb.v5i2.244>

Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>

