JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 8, No. 2, Desember 2023, Hal. 175-182
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v8.i2.2023.175-182
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Pengaruh Tinggi Cerobong Kompor Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi *Top Lit Up Draft*

Digdo Listyadi Setyawan[#], Nasrul Ilminnafik, Hary Sutjahjono, Intan Hardiatama, Allisa Salwasana
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37, Jember, Jawa Timur, Indonesia
[#]digdo@unej.ac.id

Abstrak

Kompor gasifikasi tipe *Top Lit-Up Draft* (TLUD) memiliki keluaran api pada bagian atas kompor dimana nyala api yang dihasilkan oleh kompor ini ditahan di atas biomassa pada titik percampuran dengan udara sekunder. Desain kompor memiliki peran pentinng dalam meningkatkan kinerjanya. Selain itu, terdapat juga komponen lain yang dinilai cukup penting yaitu penambahan cerobong kompor (*chimney*) yang terletak pada bagian atas kompor sebagai jalur api keluar. Meskipun desain dari cerobong kompor berperan penting dalam pembakaran yang terjadi di kompor gasifikasi TLUD, tetapi masih belum ada studi saintifik yang sistematis mengenai desain cerobong kompor dan pengaruhnya terhadap pembakaran kompor TLUD. Penelitian ini mengunakan motode eksperimental dan bertujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi cerobong terhadap kinerja kompor gasifikasi tipe TLUD. Model cerobong kompor diivariasikan ketinggiannya pada 5 cm, 10 cm, dan 15 cm, dengan kecepatan aliran udara 1,5 m/s, serta bahan bakar biomassa ampas tebu sebanyak 600 gram. Variabel terikat penelitian ini adalah tinggi api, temperatur api, lama nyala api, dan efisiensi termal kompor. Penelitian ini memperoleh kesimpulan tinggi cerobong kompor berpengaruh dalam parameter-parameter kinerja kompor gasifikasi TLUD yang dihasilkan, yaitu tinggi api, temperatur api, dan lama nyala api. Semakin tinggi cerobong kompor, semakin tinggi nilai parameter-parameter kinerja kompor gasifikasi TLUD. Namun, tinggi cerobong kompor kurang berpengaruh terhadap nilai efisiensi termal kompor gasifikasi TLUD.

Kata kunci: cerobong , gasifikasi, TLUD, kinerja kompor

Abstract

The Top Lit-Up Draft (TLUD) type gasification stove has a flame output at the top of the stove where the flame produced by this stove is held above the biomass at the point of mixing with secondary air. Stove design has an important role in improving its performance. Apart from that, there is also another component that is considered quite important, namely the addition of a stove chimney which is located at the top of the stove as a way for the fire to escape. Although the design of the stove chimney plays an important role in the combustion that occurs in the TLUD gasification stove, there is still no systematic scientific study regarding the stove chimney design and its effect on the combustion of the TLUD stove. This research uses an experimental method and aims to determine the effect of chimney height on the performance of the TLUD type gasification stove. The height of the stove chimney was varied at 5 cm, 10 cm, and 15 cm, with an air flow speed of 1.5 m/s, and 600 grams of bagasse biomass fuel. The dependent variables of this research are flame height, flame temperature, flame duration, and stove thermal efficiency. This research concluded that the height of the stove chimney influences the performance parameters of the resulting TLUD gasification stove, namely flame height, flame temperature and flame duration. The higher the stove chimney, the higher the performance parameters of the TLUD gasification stove. However, the height of the stove chimney has less influence on the thermal efficiency value of the TLUD gasification stove.

Keywords: *chimney, gasification, TLUD, stove performance*

I. PENDAHULUAN

Gasifikasi adalah suatu proses dekomposisi kimia dan termal melalui teknik pembakaran atau konversi material menjadi bahan bakar gas dengan udara yang terbatas [1]. Pada proses ini, gasifikasi memanfaatkan panas dari reaksi pembakaran. Reaksi yang terjadi diantaranya reaksi reduksi,

Diterima: 22 September 2022; Direvisi: 12 Oktober 2023; Disetujui: 12 Desember 2023
JTERA, Vol. 8, No. 2, Desember 2023

© 2023 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

pirolisis, *drying* (pengeringan), dan pembakaran [2]. *Top-Lit Up Draft* (TLUD) adalah teknik inovasi semi-gasifikasi dimana dapat menciptakan lebih sedikit emisi. Sampai sekarang ada banyak penggunaan metode TLUD pada kompor memasak gas dengan model yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kompor memasak gasifikasi terbaik.

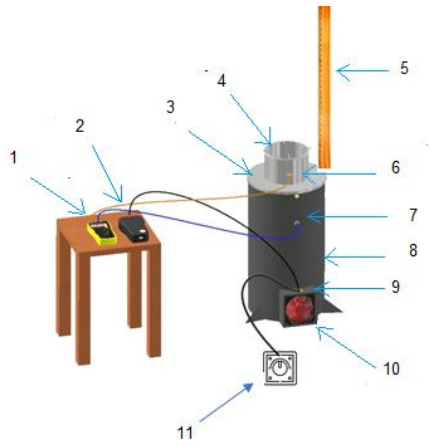
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saputro [3] tentang rancang bangun *burner* dengan variasi jumlah dan diameter lubang *secondary airflow* pada tungku gasifikasi menyimpulkan bahwa semakin besar aliran udara sekunder pada *burner* semakin besar pula temperatur api pembakaran. Akan tetapi, jika aliran udara sekunder pada *burner* terlalu besar justru temperatur api pembakaran akan menurun dan waktu pendidihan air semakin lama. Pambudi [4] melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi jumlah lubang udara terhadap efisiensi kompor biomassa. Penelitian ini menggunakan kompor biomassa dengan variasi lubang udara pada tabung bakar yakni 6 lubang, 12 lubang, dan 18 lubang dengan menggunakan bahan bakar briket kayu pulai. Penelitian yang dilakukan oleh Anggara [5] tentang pengaruh jumlah lubang udara pada tungku pembakaran serta variasi kecepatan aliran udara terhadap kinerja kompor gasifikasi dengan bahan bakar pelet kayu jati. Penelitian ini menghasilkan performa kompor efisiensi terbaik sebesar 13,55% dengan kecepatan 3,50 m/s, dan lubang 40, persentase *char* terbaik sebesar 11,55% dengan kecepatan 2 m/s dan lubang 40, dan laju konsumsi bahan bakar terbaik sebesar 1,05 kg/jam dengan kecepatan 3,50 m/s, dan lubang 20. Penelitian yang Sunarya [6] juga menganalisis kompor gasifikasi PP-Plus berbahan bakar limbah kayu olahan. Bahan bakar yang digunakan yaitu limbah kayu olahan seperti ranting kayu, sisa tamanan kayu, dan potongan kayu yang telah dikeringkan. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan variasi bahan bakar mempengaruhi efisiensi termal dari kompor gasifikasi PP-Plus. Penelitian kompor gasifikasi PP-Plus berbahan bakar limbah kayu olahan menghasilkan efisiensi termal antara 9-31%. Ukuran biomassa berpengaruh pada waktu *start-up* dan waktu operasi kompor. Semakin kecil ukuran bahan biomassa maka semakin cepat waktu *start-up* kompor dan semakin lama waktu operasi kompor. Selanjutnya, penelitian yang telah dilakukan oleh Prasetyani [7] menganalisis kompor biomassa gasifikasi dengan variasi bahan bakar *wood pellet* sekam padi, *wood pellet* kayu jati, dan *wood pellet* kayu sengon. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu dari tiga jenis biomassa yang baik digunakan sebagai bahan bakar dari segi nilai efisiensi tertinggi dan waktu pengoperasian yang cepat yaitu *wood pellet* sekam padi. Pada *wood pellet* sekam padi memiliki kekurangan dari segi konsumsi bahan bakar yang banyak yaitu lebih dari 1 kg/jam, dan persentase *char* yang dihasilkan tinggi sebesar 4%. Zakaria [8] telah melakukan penelitian kompor biomassa dengan bahan bakar yang digunakan yaitu tempurung kelapa, bonggol jagung, dan kayu nangka. Pengujian kompor biomassa dengan bahan bakar tempurung kelapa yang digunakan untuk mendidihkan air dengan volume 1 liter adalah 0,67 kg, bahan bakar tongkol jagung menggunakan 0,28 kg dan bahan bakar kayu nangka menggunakan 0,57 kg. Sehingga dari ketiga variasi bahan bakar, nilai efektivitas yang didapat adalah dari bahan bakar tongkol jagung dengan penggunaan rata-rata 0,28 kg.

Kompor gasifikasi tipe TLUD memiliki keluaran api pada bagian atas kompor. Nyala api yang dihasilkan oleh kompor ini ditahan di atas biomassa pada titik percampuran dengan udara sekunder. Desain kompor yang memiliki peran penting dalam peningkatan kinerjanya, terdapat juga komponen lain yang dinilai cukup yaitu penambahan cerobong kompor (*chimney*) yang terletak pada bagian atas kompor sebagai jalur api keluar [9]. Penurunan tekanan yang dihasilkan oleh cerobong kompor akan menarik udara ke dalam kompor melalui lubang udara primer dan sekunder [9]. Besar aliran udara masuk yang diakibatkan oleh adanya penambahan cerobong berkaitan dengan bentuk geometri cerobong kompor TLUD itu sendiri. namun menurut Brizer [9], meskipun desain dari cerobong kompor berperan penting dalam pembakaran yang terjadi di kompor gasifikasi TLUD, tetapi masih belum ada studi *scientific* yang sistematis mengenai desain cerobong kompor dan pengaruhnya terhadap pembakaran serta emisi kompor TLUD.

Pada penelitian kali ini berfokus pada pengaruh tinggi cerobong pada kompor gasifikasi tipe TLUD. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi untuk permasalahan bahan bakar tidak terbarukan yang kian lama kian menipis dan dapat menjadi pengembangan dari pemanfaatan limbah pertanian sebagai biomassa yang merupakan energi terbarukan.

II. METODE PENELITIAN

Proses gasifikasi terjadi di dalam kompor gasifikasi dengan jenis TLUD dan tipe aliran udara *forced draft*. Biomassa berupa ampas tebu yang akan digunakan sebagai bahan bakar utama dalam proses gasifikasi. Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



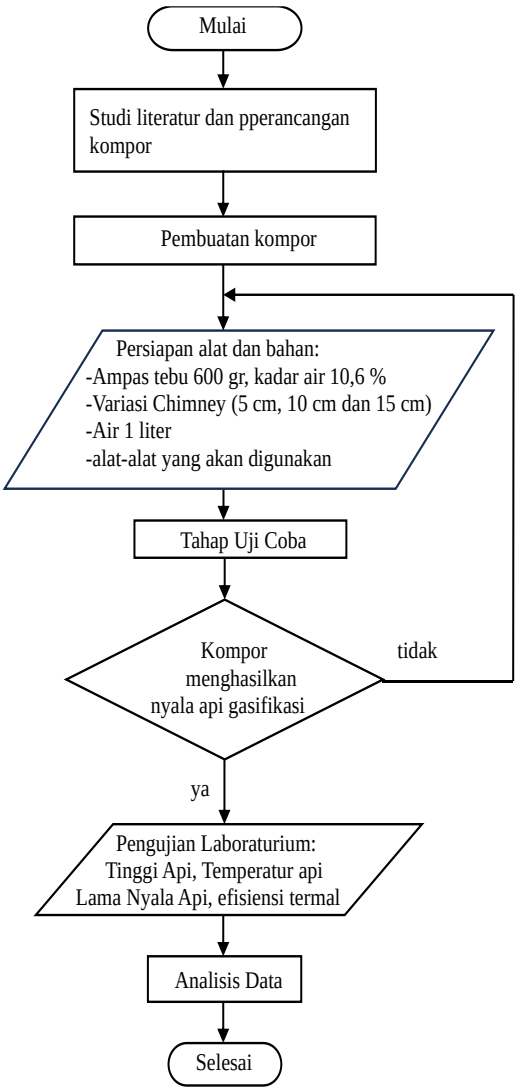
Gambar 1. Skema pengujian kompor gasifikasi TLUD

Keterangan:

1. *Thermocouple reader accuracy* (0,05% + 0,3°C)
2. *Anemometer reader resolution of 0,01m/sec*
3. *Concentrator disk*
4. Cerobong kompor (*chimney*)
5. Penggaris
6. *Thermocouple* (T1) type K
7. *Thermocouple* (T2) type K
8. Kompor gasifikasi
9. *Anemometer Air Velocity Range: 0 - 30 m/s*
10. *Fan forced draft Air Flow 43,56CFM*
11. *Dimmer Speed Controller V-2000*

Kompor gasifikasi TLUD yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tinggi 60 cm dan diameter 26 cm. Reaktor (gasifier) yang berbentuk silinder dengan diameter 20 cm dan tinggi 35 cm. Kompor gasifikasi ini ditambahkan cerobong dengan diameter 15 cm dan dengan 3 variasi tinggi yang masing-masing tingginya 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Pada bagian depan bawah kompor terdapat lubang dengan dimensi 12 cm x 12 cm sebagai tempat menaruh kipas dimana jalur tersebut merupakan jalur masuk udara primer dengan tipe aliran udara *forced draft* kecepatan 1,5 m/s. Pada gasifier dalam, terdapat 36 lubang yang terdapat di dasar gasifier, 30 lubang pada bagian samping bawah gasifier, sebagai lubang aliran udara primer dan 50 lubang di bagian atas samping gasifier sebagai lubang aliran udara sekunder, dimana lubang-lubang tersebut berdiameter 0,3 cm.

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas yaitu model cerobong kompor dengan ketinggian adalah 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Variabel terikat terdiri dari tinggi api, temperatur api, lama nyala api, dan efisiensi termal kompor. Variabel kontrol terdiri dari kecepatan aliran udara 1,5 m/s dan bahan bakar biomassa berupa ampas tebu sebanyak 600 gram.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Diagram alir dari penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 2. Proses pengujian kompor gasifikasi sebagai berikut:

1. Menimbang biomassa (ampas tebu dengan kadar air 10,6%) sebanyak 600 gram sebagai bahan bakar kompor gasifikasi.
2. Memasukkan bahan bakar biomassa yang telah ditimbang ke dalam kompor gasifikasi.
3. Memasang cerobong kompor dan mengatur kecepatan aliran udara sebesar 1,5 m/s menggunakan *dimmer* dengan *speed controller V – 2000.* Kecapatan aliran udara diukur dengan *Anemometer Air Velocity Range* 0 – 30 m/s.
4. Memproses bahan bakar biomassa di dalam tungku gasifikasi dengan manyalakan api menggunakan *gas torcher*.
5. Menjaga nyala api hingga seluruh bahan habis terbakar.
6. Mencatat data-data yang diperlukan untuk menganalisis kinerja kompor gasifikasi seperti ketinggian api tiap 2 menit, lama nyala api, dan

temperature api yang diukur dengan *Thermocouple reader accuracy* (0,05% + 0,3°C)
7. Melakukan pengulangan langkah 4-9 dengan 3 variasi cerobong dan tanpa cerobong.
8. Percobaan diulangi sebanyak 10 kali.
9. Melakukan analisis data yang telah diperoleh.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

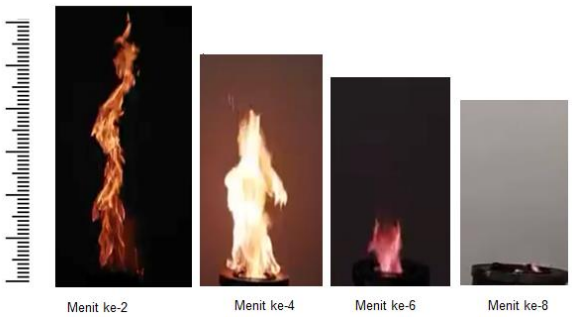
A. Pengujian Variabel Tinggi Api

Parameter tinggi api pada penelitian ini diukur menggunakan *software* ImageJ setiap 2 menit. Tinggi nyala api yang diukur menggunakan *software* ImageJ ialah tinggi api yang keluar dari cerobong kompor. Data yang diperoleh dari pengujian tinggi api ini ialah data tinggi api dalam satuan sentimeter (cm) sebanyak 3 (tiga) data setiap satu varian tinggi cerobong. Data tersebut kemudian dirata-rata sehingga menghasilkan satu data setiap satu varian tinggi cerobong. Visualisasi tinggi nyala api dari kompor TLUD seperti pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.

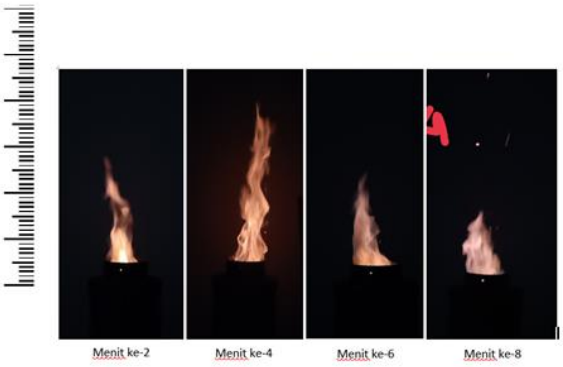
Gambar 3 menunjukkan visualisasi tinggi api kompor dengan tanpa *chimmey* yang mengalami penurunan di setiap 2 menitnya, dan api mulai tidak terlihat dari luar pada 8 menit 2 detik. Api nampak mulai berwarna biru rata-rata pada menit ke-6.

Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menunjukkan visualisasi tinggi api kompor dengan *chimmey* 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa api tertinggi mencapai 33,91 cm pada menit ke-4 untuk variasi *chimney* 5 cm. Tinggi api terendah yaitu pada 4,46 cm di menit ke-8 untuk variasi *chimney* 10 cm. Temperatur api pada kompor gasifikasi TLUD berkisar antara 700°C-1100°C.

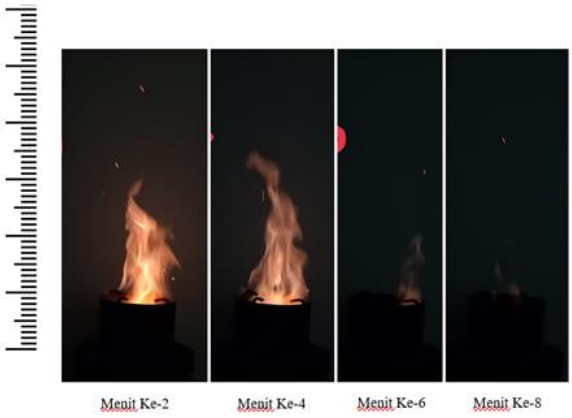
Temperatur api dapat digunakan sebagai indikator nilai kalor bahan bakar dan kualitas pembakaran [10]. Temperatur api dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, massa bahan bakar dan pasokan udara dari lingkungan. Nilai kalor dan komposisi gas hasil bakar berpengaruh terhadap api yang dihasilkan [11].



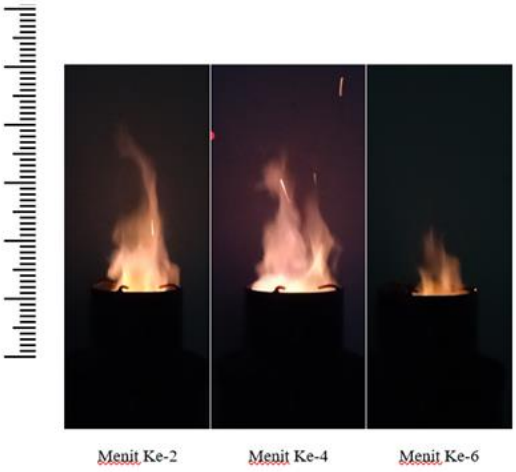
Gambar 3. Tinggi api kompor tanpa *chimney*



Gambar 4. Tinggi api dengan kompor *chimney* 5 cm



Gambar 5. Tinggi api kompor dengan *chimney* 10 cm

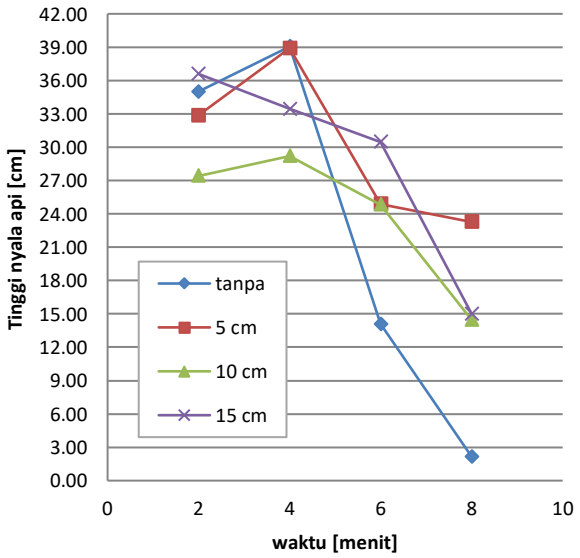


Gambar 6. Tinggi api kompor dengan *chimney* 15 cm

Semakin besar nilai kalor dan *volatile matter* bahan bakar akan menentukan besarnya kalor yang dilepaskan oleh api dan meningkatkan temperatur api. Temperatur api semakin tinggi, maka kalor yang dilepaskan oleh api semakin besar. Perbedaan warna api dipengaruhi oleh beberapa kandungan gas dalam bahan bakar biomassa. Ketika semakin banyak gas CO warna api yang dihasilkan akan semakin orange bahkan mendekati merah [12]. Warna api orange disebabkan oleh banyak gas CO yang terbentuk dan masih banyak partikel kabon

yang ikut terbakar. Sedangkan warna biru pada api mengindikasikan gas CH_4 dan H_2 yang terbakar [13]. Tinggi dan bentuk api yang dihasilkan cenderung tidak stabil disebabkan oleh aliran udara sekuder secara visual terlihat bersifat turbulen [14].

Grafik data hasil pengujian tinggi api yang sudah diukur menggunakan *software* ImageJ dapat dilihat seperti pada Gambar 7. Berdasarkan grafik tinggi api pada Gambar 7 dapat terlihat bahwa api tertinggi mencapai pada menit ke-4 oleh kompor tanpa *chimmey* dan kompor dengan *chimmey* 5 cm. Tinggi api terendah yaitu pada 2,15 cm di menit ke-8 untuk kompor tanpai *chimney*. Setiap variasi *chimney* memiliki kestabilan api yang berbeda. Berdasarkan keempat grafik tersebut, api yang memiliki tinggi lebih stabil dan aman ialah pada variasi *chimney* 15 cm. Variasi *chimney* 15 cm mencapai tinggi maksimal di menit ke-2 yaitu menit pertama pencatatan data yaitu sebesar 36,59 cm dan berangsur-angsur menurun dengan penurunan rata-rata sebesar 3,0 cm pada menit ke-4 dan ke-6 hingga api tidak nampak pada menit ke-8. Tinggi api ini erat kaitannya dengan kalimat yang dikemukakan oleh Birzer [9] bahwa api yang menyala akan tetap berada di atas biomassa dimana terjadi juga proses percampuran dengan udara sekunder dan kemudian api akan naik melewati cerobong kompor. Berdasarkan kalimat tersebut variasi *chimney* 15 cm memiliki grafik yang lebih stabil dikarenakan grafiknya yang menurun seiring dengan bahan bakar yang terbakar serta api yang keluar dari kompor hanya selama 8,47 menit saja. Oleh karena itu, cerobong dengan tinggi 15 cm dinilai memiliki tinggi api yang lebih stabil dan aman untuk digunakan.



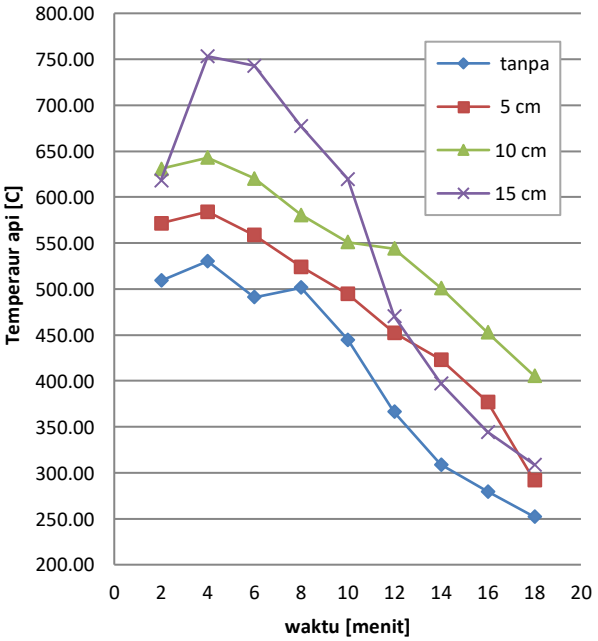
Gambar 7. Grafik tinggi nyala api

B. Pengujian Variabel Temperatur Api

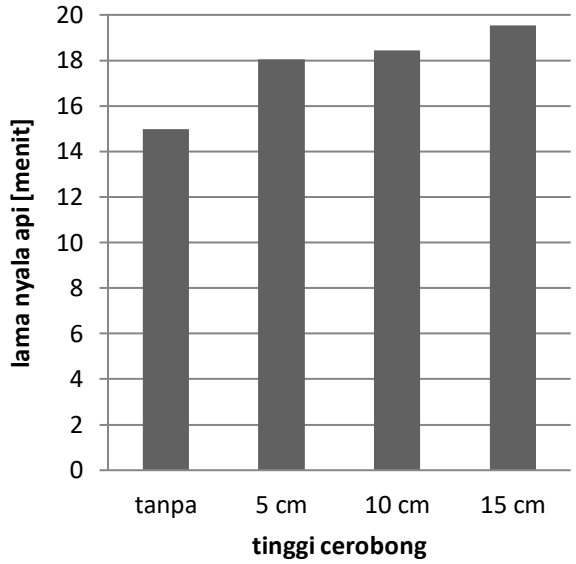
Data-data temperatur api yang di dapat dari percobaan kemudian dirata-rata dan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8, suhu paling tinggi terdapat pada kompor dengan *chimney* 15 cm, kemudian suhu terendah terdapat pada kompor tanpa *chimney*. Hal ini berkaitan dengan pengaruh geometri cerobong dimana dalam penelitian ini ialah tinggi cerobong. Cerobong kompor akan menurunkan tekanan, sehingga udara akan tertarik masuk ke dalam kompor melalui lubang saluran udara primer dan lubang saluran udara sekunder [9]. Cerobong kompor dengan ketinggian yang lebih tinggi dapat menimbulkan perbedaan tekanan yang lebih tinggi pula. Untuk itu diharapkan laju aliran udaranya semakin tinngi. Akan tetapi, semakin tinggi cerobong kompor, semakin kecil viskositasnya [9]. Viskositas memiliki keterkaitan dengan suhu, yaitu apabila viskositas menurun maka suhu akan meningkat [15].

C. Pengujian Variabel Lama Nyala Api

Data waktu lama nyala api pada pengujian ini diukur menggunakan *stopwatch* yang dimulai dari waktu *start up* (waktu awal api menyala) kompor gasifikasi dan dicatat setiap 2 menit dan hasilnya dapat dilihat seperti Gambar 9.



Gambar 8. Grafik temperatur api

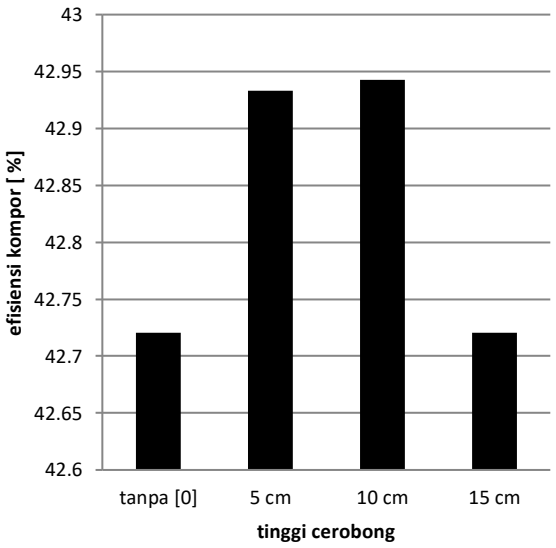


Gambar 9. Lama nyala api

Berdasarkan grafik lama nyala api pada Gambar 8, dapat terlihat bahwa waktu lama api menyala pada penelitian ini ialah pada variasi *chimney* 15 cm yaitu api menyala selama 19,54 menit, sedangkan waktu api menyala tersingkat ialah pada tanpa *chimney* selama 14,99 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi cerobong kompor, maka semakin lama waktu api menyala. Kenaikan temperatur pembakaran berpengaruh terhadap lama waktu pembakaran, semakin besar kenaikan temperatur, waktu pembakaran yang terjadi menjadi semakin pendek [16]. Kompor dengan variasi *chimmey* 15 cm mempunyai kenaikan temperatur api rata-rata, yang rendah sehingga waktu pembakarannya lebih lama. Jumlah lubang udara juga berpengaruh terhadap lama waktu nyala api, yaitu semakin banyak aliran udara yang melewati bahan bakar maka semakin cepat pula bahan bakar tersebut habis terbakar [4]. Durasi nyala api juga dipengaruhi oleh debit udara yang masuk ke dalam *gasifier*, dimana semakin banyak udara yang masuk maka semakin banyak udara yang bereaksi dengan biomassa pada proses pembakaran [17].

D. Pengujian Variabel Efisiensi Termal

Kinerja kompor TLUD pada penelitian ini juga dapat dilihat dari efisiensi termal yang dihasilkan. Gambar 10 menunjukkan efisiensi termal dari kompor TLUD tanpa cerobong dan dengan variasi cerobong. Efisiensi termal kompor adalah perbandingan antara energi yang digunakan pada pemanasan air dengan energi panas yang terkandung pada bahan bakar.



Gambar 10. Efisiensi termal kompor TLUD

Efisiensi termal (η_{th}) dihitung dengan menggunakan persamaan [18], [19]:

$$\eta_{th} = [\, m_a.Cp.\, \Delta T + \Delta m_a\, .\, \lambda] \,/\, [\Delta m_k\, .\, LHV] \quad (1)$$

dengan m_a adalah massa air (kg), Cp adalah kapasitas panas air (4,186 J/kg ^oC), Δm_a adalah massa air yang menguap (kg), ΔT adalah selisih temperatur air akhir terhadap susu awal air, λ adalah panas penguapan air (2260 kJ/kg), dan LHV adalah nilai kalor bahan bakar. Dari Gambar 10 terlihat bahwa efisiensi kompor pada dasarnya mempunyai nilai yang sama yaitu berkisar antara 42,7 % sampai 42,95%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi ketinggian *chimmey* tidak perpengaruh banyak terhadap nilai efisiensi, tetapi variasi ketinggian chimmey lebih banya berpengaruh pada karakteristik api yang dihasilkan kompor TLUD yaitu lama nyala api, temperatur api, dan ketinggian api

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan tinggi cerobong kompor berpengaruh dalam parameter-parameter kinerja kompor gasifikasi TLUD yang dihasilkan, yaitu tinggi nyala api, temperatur api, dan lama nyala api. Semakin tinggi cerobong kompor, semakin tinggi nilai parameter-parameter kinerja kompor gasifikasi TLUD. Tetapi tinggi cerobong kompor kurang berpengaruh terhadap nilai efisiensi termal kompor gasifikasi TLUD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat [LP2M] UNIVERSITAS JEMBER, dengan Surat Keputusan Rektor Universitas Jember Nomor: 14970/UN25/KP/2022 tanggal 15 Juli 2022 dan Perjanjian Penugasan Nomor 4227 /UN25.3.1/LT/2022 tanggal 15 Juli 2022, atas dukungan finansial sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

REFERENSI

[1] S. P. Jati, S. Suwandi, and N. Fitriyanti. "Analisis Pengaruh Variasi Bahan Bakar Biomassa Dan Pola Tiupan Udara Terhadap Efisiensi Kompor Gasifikasi Tipe Updraft," *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 1-11, 2021.

[2] G. Murdiono, "Pengaruh Variasi Pemanasan Awal Udara Dan Penambahan Udara Bantu Pada Reaktor Terhadap Performa Kompor Gasifikasi Sekam Padi Top Lit Up Draft (TLUD)," *Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2017.

[3] A. Saputro, "Rancang Bangun Burner Dengan Variasi Jumlah Lubang Secondary Airflow 11, 13, 15,17 Dan Diameter Lubang 5 mm, 10 mm, 15 mm Pada Tungku Gasifikasi," *Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Surakarta)*, 2017

[4] P. Pambudi, S. Widodo, and K. Suharno, "Pengaruh Variasi Jumlah Lubang Udara Terhadap Efisiensi Kompor Biomassa, *Jurnal Mer-c*, vol. 1, no. 2, 2019.

[5] R. Anggara, S. Suwandi, and R. Fauzi, "Pengaruh Jumlah Lubang Udara Pada Tungku Pembakaran Serta Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Dengan Bahan Bakar Pelet Kayu Jati," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 2, 2019.

[6] R. Sunarya, Z. Zulfansyah, and S. Helianti, "Unjuk Kerja Kompor Gasifikasi PP-Plus Berbahan Bakar Limbah Kayu Olahan," *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO*, 2012.

[7] C. F. Prasetyani, S. Suwandi, and R. F. Iskandar, "Pengaruh Jenis Biomassa dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa," *Proceeding of Engineering*, vol. 6, no. (2), pp. 5217-5224, 2019.

[8] M. A. Zakaria, M. A. Irfa'i, and M. M. Rosadi, "Analisis Pengaruh Variasi Bahan Bakar Terhadap Uji Efektivitas Kompor Biomassa," *Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*, vol. 1, no. 2, pp. 55-60. 2020.

[9] C. Birzer, P. Medwell, J. Wilkey, T. West, M. Higgins, G. MacFarlane, and M. Read, "An analysis of combustion from a top-lit up-draft (TLUD) cookstove," *Journal of Humanitarian Engineering*, vol. 2, no. 1, pp 1-8, 2013.

[10] J. Agenbroad, M. DeFoort, A. Kirkpatrick, and C. Kreutzer, "A simplified model for understanding natural convection driven biomass cooking stoves-Part 2: With cook piece operation and the dimensionless form," *Energy for Sustainable Development*, vol. 15, pp. 169-75, 2011.

[11] D. Riansyah and D. H. Sutjahjo, "Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 37-42, 2019.

[12] F. Vidian, "Kompor Gas Berbahan Bakar Biomassa," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 31-33, 2009.

[13] V. M. Berruetaa, "Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico," *Renewable Energy*, vol. 33, pp 859-870, 2008.

[14] S. Suhartono, F. Gasela, and A. Khoirunnisa, "Kajian Kinerja Kompor Limbah Biomassa Padat Skala Industri Rumah Tangga," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Yogyakarta, 2018.

[15] Y, Damayanti, A. D. Lesmono, and T. Prihandono, "Kajian Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Goreng Sebagai Rancangan Bahan," *Jurnal Pembelajaran Fisika*, vol. 7, no. 3, pp 307-314, 2018

[16] M. A. Almu, S. Syahrul, and Y. A. Padang, "Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyamplung (Calophyllm Inophyllum) Dan Abu Sekam Padi," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 117–122, 2014.

[17] F. Mufid and S. Anis, "Pengaruh Jenis Ukuran Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan Downdraft Gasifier," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 3, pp. 217-226, 2019.

[18] BSN: Standar Nasional Kinerja Tungku Biomassa (SNI 7926:2013), BSNI, 2013.

[19] A. Saravanakumar, M. Haridasan, T. B. Reed, and R. K. Bai, "Experimental investigation and modelling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier," *Fuel*, vol. 17-18, no. 86, pp. 2846-2856, 2007.