

Pengaruh Kecepatan Udara Primer dan Sekunder terhadap Kinerja Kompor Biomassa Berbahan Bakar Cangkang Kemiri

Primary And Secondary Air Velocity Effect on The Performance of A Biomass Stove Fuelled by Candlenut Shell

Sopyan Ali Rohman^{1*}, Abdurrahman², Shafwan Amrullah³

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Teknologi Sumbawa

³Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

Email: ¹sopyan.ali.rohman@uts.ac.id, ²ar748440@gmail.com, ³shafwan.amrullah@uts.ac.id

*Penulis korespondensi: sopyan.ali.rohman@uts.ac.id

Direview: Februari 2022

Diterima: Maret 2022

ABSTRAK

Saat ini kebutuhan energi rumah tangga di Indonesia terutama untuk memasak masih didominasi oleh bagian bakar fosil LPG dengan 70% kebutuhan LPG diimpor. Di sisi lain, ketersediaan limbah biomassa khususnya cangkang kemiri melimpah. Salah satu cara mengoptimalkan pemanfaatan cangkang kemiri adalah memanfaatkan cangkang kemiri sebagai bahan bakar kompor biomassa dengan mengoptimalkan efisiensi kompor biomassa. Pada penelitian ini digunakan kompor biomassa dengan aliran udara primer dan sekunder dengan diameter ruang bakar 200 mm dan tinggi 340 mm. Limbah biomassa yang digunakan adalah cangkang kemiri sebagai bahan bakar. Tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan peningkatan kinerja kompor biomassa berbahan bakar cangkang kemiri yang dipengaruhi oleh kecepatan udara primer dan sekunder. Pengujian kompor biomassa meliputi efisiensi termal, konsumsi spesifik bahan bakar, emisi CO. Hasil pengujian kinerja diperoleh bahwa kompor biomassa dengan kecepatan udara primer 3,7 m/s, kecepatan udara sekunder sebesar 3,7 m/s memiliki efisiensi termal tertinggi yaitu 45,77%. Konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah diperoleh dari kompor biomassa dengan kecepatan udara primer 1,5 m/s, kecepatan udara sekunder 1,5 m/s yaitu 0,583 kg/jam, dan hasil uji emisi diperoleh bahwa terjadi pembakaran sempurna dengan emisi CO 0% pada seluruh variabel kecepatan udara yang diteliti.

Kata kunci: Cangkang kemiri, efisiensi termal, emisi, kompor biomassa, konsumsi spesifik

ABSTRACT

Household energy need in Indonesia, especially for cooking, are still dominated by LPG fossil fuels with 70% of LPG needs being imported. On the other hand, the availability of biomass waste, especially candlenut shells, is abundant. One way to optimize the use of candlenut shells is to use candlenut shells as fuel for biomass stoves by optimizing the efficiency of biomass stoves. In this study, a biomass stove with primary and secondary airflow was used with a combustion chamber diameter of 200 mm and a height of 340 mm. The biomass waste used is candlenut shells as fuel. The purpose of this study was to explain the increase in the performance of a biomass stove fueled with candlenut shell which is influenced by primary and secondary air velocity. Biomass stove testing includes thermal efficiency, specific fuel consumption, CO and CO₂ emissions. The performance test results show that the biomass stove with a primary air velocity of 3.7 m/s, a secondary air velocity of 3.7 m/s has the highest thermal efficiency of 45.77%. The lowest specific fuel consumption is obtained from a biomass stove with a primary air velocity of 1.5 m/s, a secondary air velocity of 1.5 m/s, which is 0.583 kg/hour, and the emission test results show that complete combustion occurs with 0% CO emission. on all air velocity variables studied.

Keywords: Candlenut shell, thermal efficiency, emission, biomass stove, specific fuel consumption

1. PENDAHULUAN

Saat ini, kebutuhan energi Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil (Singh & Setiawan, 2013). Tingginya kebutuhan energi fosil Indonesia salah satunya disumbang oleh kebutuhan rumah tangga terhadap LPG untuk memasak yang terus meningkat dimana impor mencapai 70 persen dari suplai LPG (Haryana, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan konversi bahan bakar fosil ke energi terbarukan yang ramah lingkungan dan jumlahnya melimpah di Indonesia untuk menghindari kelangkaan energi.

Salah satu energi terbarukan dan keberadaannya tersebar di seluruh daerah Indonesia adalah biomassa (Singh & Setiawan, 2013). Potensi energi biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai angka 49.810 MW, apabila digunakan dengan optimal dapat mengurangi kebutuhan bahan bakar fosil di Indonesia (Pranoto et al., 2013). Selain kebaradaan yang melimpah, biomassa juga memiliki kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan karena emisi yang dihasilkan dari pembakaran biomassa lebih rendah dari pada batu bara dan gas alam (Hiloidhari et al., 2019). Salah satu biomassa yang melimpah di Indonesia adalah limbah cangkang kemiri. BPS Kabupaten Sumbawa, (2019) mencatat bahwa potensi perkebunan kemiri di Sumbawa berkisar seluas 840 hektar dan produksi pada tahun 2019 sekitar 840,9-ton dengan rerata produksi 1,2 ton/hektar.

Pemanfaatan limbah cangkang kemiri ini dapat dilakukan untuk memasak dengan menggunakan kompor biomassa. Penelitian tentang kompor biomassa telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Pambudi et al., (2019) menyebutkan bahwa jumlah lubang udara mempengaruhi efisiensi kompor biomassa yaitu semakin banyak lubang maka efisiensi pembakaran semakin tinggi dan lama menyala semakin rendah. Hasil penelitian tentang kompor gasifikasi biomassa berbahan bakar sekam padi yang dilakukan oleh Selilana et al., (2017) menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara maka lama menyala akan semakin rendah dan efisiensi termal semakin tinggi. Selain itu, peningkatan kinerja kompor biomassa berbahan bakar kayu mahoni juga mengalami peningkatan dengan semakin meningkatnya kecepatan udara (Barita, 2019).

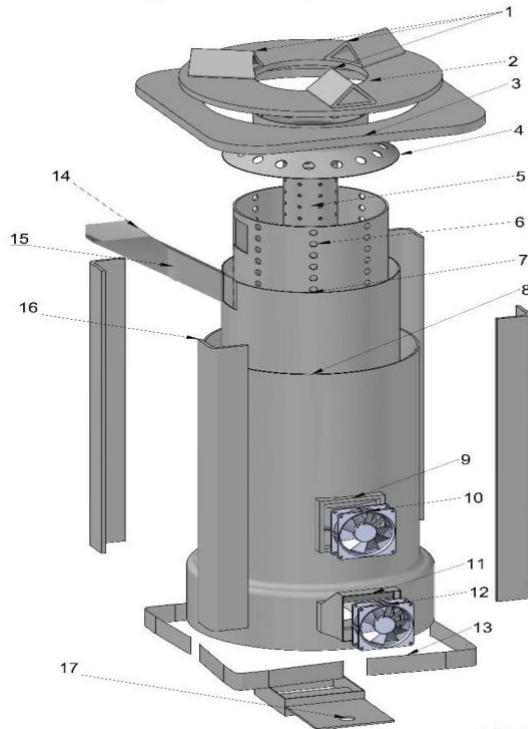
Selain laju aliran udara, jenis bahan bakar kompor biomassa juga berpengaruh seperti yang telah dibuktikan oleh Fadilah et al., (2019) dengan membandingkan sekam padi, kayu jati dan *wood pellet* kayu sengon. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa beda jenis bahan bakar kompor biomassa menghasilkan kinerja optimal pada kecepatan udara yang berbeda. Penelitian tentang pengaruh perbedaan bahan bakar biomassa terhadap kinerja kompor biomassa juga dilakukan oleh (Suhartono et al., 2018) yang membandingkan antara tongkol jagung, batok kelapa dan serpihan kayu.

Berdasarkan pemaparan diatas diperoleh bahwa ukuran tungku biomassa juga mempengaruhi kinerja tungku biomassa berbahan bakar cangkang kelapa sawit seperti yang dibuktikan oleh (Febriansyah et al., 2014). Di samping itu, dalam penelitian terdahulu kompor biomassa yang diteliti memiliki perbedaan pada penempatan lubang udara, namun belum ada yang meneliti kompor biomassa pembagian aliran udara primer dan sekunder. Selain itu penelitian tentang kompor biomassa berbahan bakar cangkang kemiri juga belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian pengaruh tentang pengaruh kecepatan udara primer dan sekunder terhadap kinerja kompor biomassa berbahan bakar cangkang kemiri. Pada penelitian ini kompor biomassa yang digunakan memiliki lubang udara yang ditempatkan dipinggir dan tengah ruang bakar.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan udara primer dan sekunder yang paling optimal untuk pembakaran cangkang kemiri dan kinerja kompor biomassa, serta melakukan uji emisi karbon dioksida dan karbon monoksida.

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah biomassa dari cangkang kemiri dari Desa Kelungkung, Kecamatan Batu Lanteh, Kabupaten Sumbawa, NTB. Ukuran cangkang kemiri yang digunakan adalah sembarang dan kandungan uap seragam dengan mempertimbangkan keseragaman waktu pengeringan dan proses pemanenan buah kemiri. Adapun gambar kompor biomassa yang digunakan seperti pada Gambar 1.

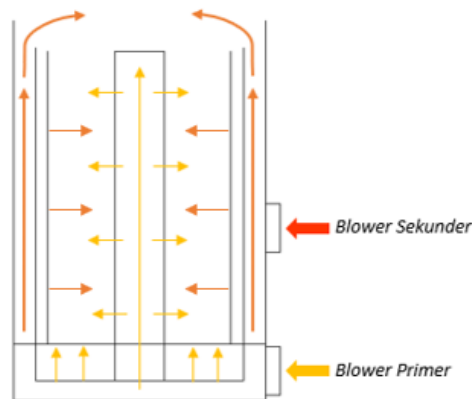


Keterangan :

1. Dudukan Wajan
2. Penutup frame terluar
3. Penutup layer sekunder
4. Penutup layer primer
5. Tabung saluran udara bagian tengah.
6. Layer primer
7. Layer sekunder.
8. Outer prame
9. Saluran udara sekunder
10. fan sekunder
11. Penyangga kaki kompor
12. Pembuangan abu
13. Bagian bawah kompor
14. Feeder bahan bakar
15. Penutup feeder bahan bakar
16. Penyangga kompor.

Gambar-1. Kompor Biomasa Yang Digunakan.

Ruang bakar kompor biomassa berdiameter 200 mm dan tinggi 340 mm. Aliran udara primer dari *blower primer* diarahkan bawah layer primer, dan jalur tabung sirkulasi udara dalam sedangkan aliran udara sekunder mengalir melalui dinding luar ruang bakar dan bagian atas kompor yang langsung kontak dengan bara api. Aliran udara primer melewati tabung sirkulasi udara dalam dengan fitur lubang udara berdiameter 5 mm, yang berjumlah sebanyak 136 lubang, dan juga melewati bagian alas layer primer melalui lubang sirkulasi udara berdiameter 5 mm dengan jumlah total lubang sebanyak 16 lubang. Sedangkan aliran udara sekunder masuk melalui lubang sirkulasi udara di sepanjang sisi *layer primer* dan lubang sirkulasi di bagian atas *layer sekunder*. Adapun pembagian lubang udara primer dan sekunder ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar-2. Lubang Udara Primer Dan Sekunder.

2.1. Pengujian Efisiensi Termal

Pengujian kinerja tungku biomassa dilakukan dengan metode *water boiling test* sesuai dengan Standar Nasional Indonesia no 7926 (BSN, 2013). Pengujian efisiensi termal pada kompor dilakukan dengan memvariasikan kecepatan udara primer dan sekunder seperti pada Tabel-1. Pengujian untuk setiap variasi kecepatan udara dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan massa bahan bakar sebanyak 4 kg, dan massa awal air yang dididihkan sebanyak 1 kg. Konstanta yang dicatat untuk perhitungan yaitu; panas jenis air sebesar 4200 J/kg, panas laten penguapan air sebesar 2260 kJ/kg (Holman, 1981). Nilai kalor bahan bakar cangkang kemiri sebesar 4087,3 kal/g (Mudaim et al., 2021). Untuk memperoleh efisiensi termal dilakukan pengukuran

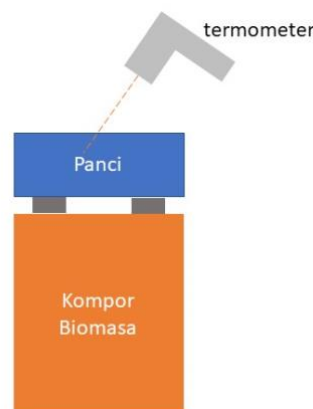
perubahan temperatur air dengan termometer kemudian dilakkan perhitungan sesuai dengan persamaan 1.

Tabel-1. Variasi kecepatan udara primer dan sekunder yang di uji.

Varisi ke-	Kecepatan Udara (m/s)	
	Primer	Sekunder
1	1.5	1.5
2	1.5	2.6
3	1.5	3.7
4	2.6	1.5
5	2.6	2.6
6	2.6	3.7
7	3.7	1.5
8	3.7	2.6
9	3.7	3.7

$$\eta = \frac{m_a c_p \Delta T + \Delta m_a L}{\Delta m_k LHV} \quad (1)$$

Dimana, nilai m_a adalah massa air, c_p adalah kalor jenis air, ΔT adalah selisih suhu awal dan akhir air, Δm_a adalah massa air yang menguap, L adalah kalor laten penguapan air, Δm_k adalah massa bahan bakar yang digunakan, dan LHV adalah nilai kalor netto bahan bakar (BSN, 2013). Pada pengujian *water boiling test*, air dipanaskan dalam panci yang diletakkan di atas kompor, kemudian dilakukan pengukuran temperatur air seperti pada Gambar 3.



Gambar-3. Skema Water Boiling Test

2.2. Pengujian Konsumsi Spesifik Bahan

Konsumsi Spesifik Bahan Bakar atau *Specific Fuel Consumption* adalah indikator keefektifan dari suatu sistem berpembakaran yang dihitung dengan membagi banyaknya bahan bakar yang dibakar dengan lama waktu pembakaran. Dalam percobaan ini, konsumsi spesifik bahan bakar diperoleh dengan melakukan pengukuran lama waktu pembakaran 4 kg cangkang kemiri dengan stop watch kemudian dilakukan perhitungan dengan persamaan 2 (BSN, 2013).

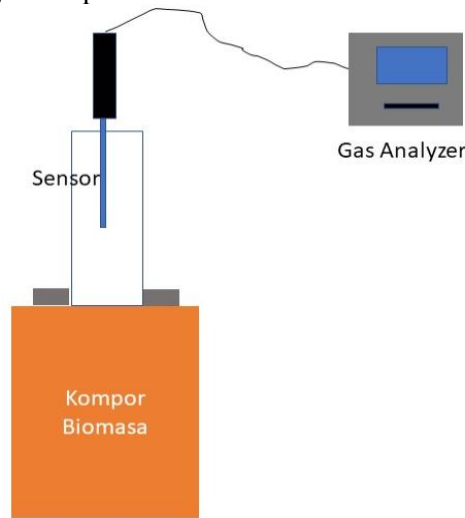
$$Sfc = \frac{\Delta m_k}{\Delta t} \quad (2)$$

Dimana Sfc adalah Konsumsi Spesifik Bahan Bakar, Δm_k adalah Massa bahan bakar yang dibakar (kg) Δt adalah waktu pembakaran (BSN, 2013).

2.3. Pengujian Emisi

Pengujian emisi dilakukan dengan menggunakan gas analyzer dengan merek Veconor yang dilakukan

di Kantor Dinas Perhubungan Sumbawa. Proses pengujian dilakukan dengan pembakaran 2 kg cangkang kemiri. Untuk melakukan pengukuran, kompor biomasa ditambahkan cerobong asap, kemudian sensor alat pengukur dil letakkan pada cerobong. Dari percobaan ini, diapat diukur persentase CO, CO₂ dan O₂. Adapun skema pemasangan alat uji emisi ditunjukkan pada Gambar-4

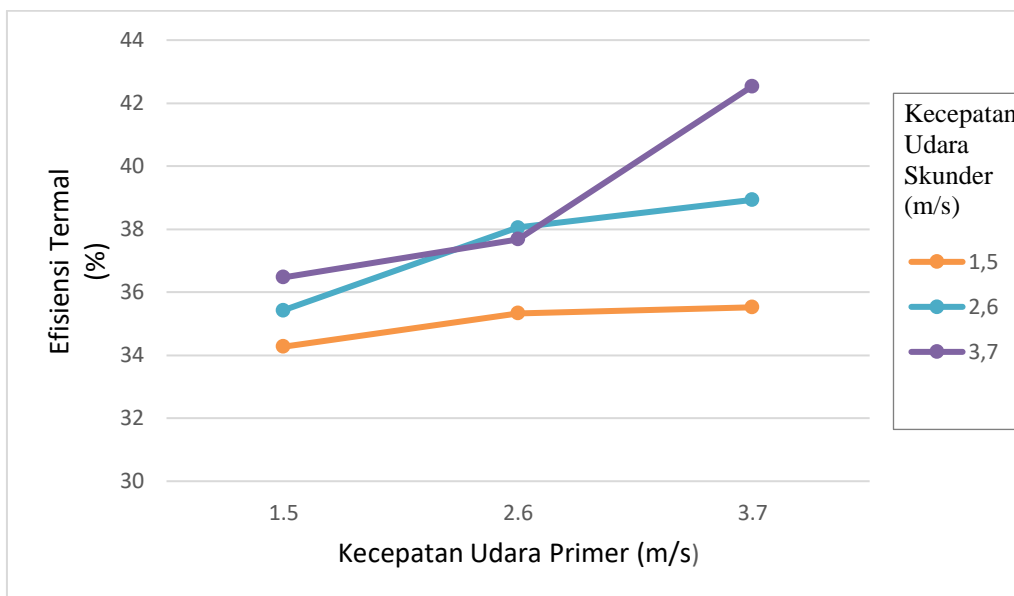


Gambar-4. Skema Uji Emisi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Efisiensi Termal

Berdasarkan penelitian terdahulu kecepatan udara sangat mempengaruhi efisiensi termal kompor biomasa, sehingga pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan udara primer dan sekunder paling optimal untuk kompor biomasa berbahan bakar cangkang kemiri yang diuji. Berdasarkan SNI : 7926, Kompor biomassa ini dinyatakan layak apabila efisiensi termal melebihi 20%.



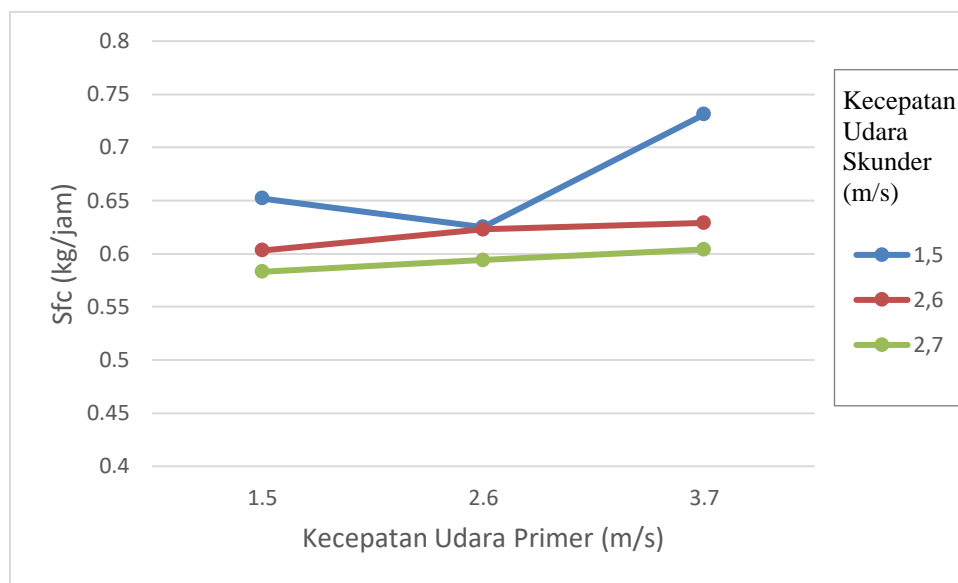
Gambar-5. Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Primer Dan Sekunder Terhadap Efisiensi Termal

Gambar-5 menunjukkan bahwa nilai efisiensi termal kompor biomassa berbahan bakar cangkang kemiri meningkat seiring peningkatan kecepatan udara primer dan sekunder. Di sisi lain, aliran udara yang berlebihan akan mempengaruhi efisiensi karena udara yang berlebihan tidak digunakan untuk pembakaran melainkan mengurai nilai kalor hasil pembakaran untuk meningkatkan temperatur udara yang berlebihan tersebut (Febriansyah et al., 2014). Dari Gambar 5 tersebut tidak terlihat tanda kelebihan udara variasi kecepatan udara karena efisiensi mengalami peningkatan pada penngkatan kecepatan udara. Dari hasil pengujian, nilai efisiensi termal tertinggi didapat pada kecepatan udara primer sebesar 3,7 m/s dan kecepatan

udara sekunder sebesar 3,7 m/s yaitu 42,54%. Sedangkan efisiensi terendah diperoleh pada kecepatan udara primer 1,5 m/s dan kecepatan udara sekunder 1,5% yaitu 34,27%. Efisiensi termal sangat erat kaitannya dengan energi yang diserap oleh air dan energi yang hilang ke lingkungan (Saravanakumar et al., 2007). Pada penelitian ini, kalor yang dihasilkan oleh pembakaran cangkang kemiri dalam kompor, paling optimal diserap oleh air didalam panci pada kecepatan udara primer dan sekunder 3,7 m/s dan 3,7 m/s. Namun seluruh variasi kecepatan udara sekunder dan primer yang di uji coba diperoleh bahwa efisiensi termal lebih dari 20% sehingga berdasarkan SNI:7926, kompor biomasa dengan bahan bakar cangkang kemiri dapat dinyatakan layak.

3.2. Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan

Konsumsi Spesifik Bahan Bakar atau *Specific Fuel Consumption* adalah indikator keefektifan dari suatu sistem berpembakaran yang dihitung dengan membagi banyaknya bahan bakar yang dibakar dengan lama waktu pembakaran, berikut grafik konsumsi spesifik bahan bakar pada kompor biomassa berbahan bakar cangkang kemiri:



Gambar- 6. Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Spesifik Bahan Bakar

Gambar-6 menunjukkan bahwa konsumsi spesifik bahan bakar paling rendah diperoleh dengan kecepatan udara primer sebesar 1,5 m/s dan kecepatan udara sekunder sebesar 1,5 m/s yaitu 0,583 kg/jam dengan rata-rata lama nyala api selama 6,863 jam, sedangkan konsumsi bahan bakar tertinggi terjadi pada kecepatan udara primer sebesar 3,7 m/s dan kecepatan udara sekunder sebesar 1,5 m/s yaitu 0,731 kg/jam dengan rata-rata lama nyala api selama 5,480 jam. Hal ini disebabkan karena semakin tingginya aliran udara menyebabkan semakin lancarnya pembakaran (Makino, 1992). Gambar-6 juga menunjukkan bahwa aliran udara primer lebih berpengaruh terhadap pembakaran biomasa di dalam kompor karena dialirkan dari bawah dan mengisi sela-sela bahan bakar sedangkan aliran udara sekunder mengalir dibagian nyala api dan akan langsung ke luar bersama gas buang hasil pembakaran.

Namun seluruh variasi kecepatan udara sekunder dan primer yang di uji coba diperoleh bahwa konsumsi spesifik bahan bakar kurang dari 1 kg/jam sehingga berdasarkan SNI:7926, kompor biomasa dengan bahan bakar cangkang kemiri dapat dinyatakan layak.

3.3. Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Emisi

Hasil pengujian emisi CO dan CO₂ dari pembakaran biomasa cangkang kemiri dengan kompor biomasa yang diuji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel- 2. Hasil uji emisi CO dan CO₂

No	Aliran Udara Primer (m/s)	Aliran Udara Sekunder(m/s)					
		1,5		2,6		3,7	
		CO(%)	CO ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)
1	1,5	0	0,652	0	0,603	0	0,583
2	2,6	0	0,625	0	0,623	0	0,594
3	3,7	0	0,731	0	0,629	0	0,604

Pada Tabel-2 di atas diperoleh bahwa hasil pengujian emisi CO adalah 0% dari seluruh variabel kecepatan udara yang diteliti. Pembakaran sempurna yang terjadi disebabkan oleh terpenuhinya udara pembakaran dari jumlah stoikiometrik campuran udara dengan bahan bakar (Khan et al., 2009). Selain itu, diperkirakan dalam pembakaran cangkang kemiri dengan kompor biomasa dalam penelitian ini, gas CO terbentuk dari pembakaran tidak sempurna dari cangkang kemiri dibagian bawah bara api, namun gas CO yang timbul mengalami pembakaran ketika melewati bara api yang memiliki temperatur sangat tinggi sebagaimana disebutkan oleh (Makino, 1992). Temperatur pembakaran gas CO adalah 800°C dan salah satu hasil pembakaran tersebut adalah gas CO₂ (Holman, 1981). Pembakaran gas CO pada kompor biomasa ini dapat terjadi karena bercampurnya gas CO dari pembakaran cangkang kemiri bagian bawah bara api dengan udara sekunder dari bagian atas kompor kemudian dipicu oleh temperatur bara api yang sangat panas. Adapun temperatur nyala api (bara api) dari pembakaran cangkang kemiri dengan kompor biomasa dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel-3.

Tabel-3. Temperatur nyala api dari pembakaran cangkang kemiri dengan variasi kecepatan udara

No	Kecepatan Udara Primer (m/s)	Kecepatan Udara Sekunder (m/s)	Temperature Nyala Api (°C)
1	1.5	1.5	935
2	1.5	2.6	947
3	1.5	3.7	944
4	2.6	1.5	956
5	2.6	2.6	948
6	2.6	3.7	935
7	3.7	1.5	980
8	3.7	2.6	959
9	3.7	3.7	1006

Hasil pengukuran temperatur nyala api yang ditunjukkan pada tabel-3 diperoleh bahwa setiap variabel kecepatan udara yang diuji menghasilkan temperatur nyala api lebih tinggi dari 800°C, sehingga proses konversi CO menjadi CO₂ dapat terjadi tanpa sisa, dan didapat nilai ppm CO sebesar nol, hasil ini menyatakan bahwa proses pembakaran dinyatakan sempurna. Untuk nilai emisi CO₂ tertinggi terjadi pada percobaan ke-9 yaitu sebesar 3,94%, total nilai 3,94% emisi CO₂ senilai dengan 39400 ppm, atau senilai dengan 39,4 g/kg. Nilai tersebut menyatakan bahwa kompor ini lulus uji emisi CO₂ karena tungku biomassa dinyatakan lulus uji emisi CO₂ apabila nilai uji emisi CO₂ tidak melebihi 67 g/kg total bahan bakar yang dikonsumsi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kecepatan udara sekunder dan primer mempengaruhi efisiensi termal kompor biomasa berbahan bakar cangkang kemiri. Efisiensi termal tertinggi didapat pada variasi kecepatan udara primer dan sekunder berturut-turut sebesar 3,7 m/s dan 3,7 m/s yaitu 45,77%, Sedangkan efisiensi terendah terjadi pada kecepatan udara primer dan sekunder berturut-turut sebesar 1,5% dan 1,5 m/s yaitu 34,27%.
2. Kecepatan udara primer sangat mempengaruhi konsumsi spesifik bahan bakar, dimana semakin tinggi kecepatan udara primer menyebabkan konsumsi spesifik bahan bakar semakin tinggi sedangkan semakin tinggi kecepatan udara sekunder konsumsi bahan bakar spesifik semakin rendah. Konsumsi bahan bakar paling rendah terjadi pada variasi kecepatan udara primer dan sekunder berturut-turut sebesar 1,5 m/s dan 1,5 m/s dengan rata-rata lama nyala api selama 6,863 jam dan konsumsi spesifik

- bahan bakar sebesar 0,583 kg/jam, sedangkan konsumsi bahan bakar tertinggi terjadi pada variasi kecepatan udara primer dan sekunder berturut-turut sebesar 3,7 m/s dan 1,5 m/s dengan rata-rata lama nyala api selama 5,480 jam dengan total konsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,731 kg/jam.
3. Penerapan aliran udara primer dan sekunder yang dibantu dengan fan menyebabkan pembakaran sempurna cangkang kemiri pada seluruh variasi kecepatan udara primer dan sekunder yang diuji.

SARAN

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti tentang pengaruh variasi bahan bakar biomassa yang digunakan terhadap kinerja kompor, misal penggunaan briket atau bahan bakar biomassa lain yang telah dikarbonisasi. Selain itu, perlu dilakukan analisis aliran udara primer dan sekunder menggunakan pemodelan CFD (*Computation Fluid Dynamics*) untuk mengetahui penempatan lubang udara yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Barita, F. S. (2019). Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Biomassa Menggunakan Bahan Bakar Limbah Kayu Mahoni Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Saintek ITM*, 32(2), 29–36. <https://doi.org/10.37369/si.v32i2.59>
- BPS Kabupaten Sumbawa. (2019). *Kabupaten Sumbawa Dalam Angka*. BPS Kabupaten Sumbawa.
- BSN. (2013). *SNI 7926:2013 Kinerja tungku biomassa*. BSN. www.bsn.go.id
- Fadilah, C., Ch, P., Suwandi, D., Si, M., Iskandar, R. F., & Pd, S. (2019). *Pengaruh Jenis Biomassa Dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa the Influence of the Biomass Type and the Speed of Air Flow on the Performance of Biomass Gasification Stove*. 6(2), 5217–5224.
- Febriansyah, H., Setiawan, A. A., Suryopratomo, K., & Setiawan, A. (2014). Gama stove: Biomass stove for palm kernel shells in Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.205>
- Haryana, A. (2019). Development of Biomass Energy Usage in the Household Sector and its Impact on LPG Subsidy Expenses and Poor Family Health. *Bappenas Working Pappers*, II(2), 176–190.
- Hiloidhari, M., Baruah, D. C., Kumari, M., Kumari, S., & Thakur, I. S. (2019). Prospect and potential of biomass power to mitigate climate change: A case study in India. *Journal of Cleaner Production*, 220, 931–944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.194>
- Holman, J. . (1981). *Heat Transfer*. McGraw Hill International Book Co.
- Khan, A. A., de Jong, W., Jansens, P. J., & Spliethoff, H. (2009). Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology*, 90(1), 21–50. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.07.012>
- Makino, A. (1992). Drag Coefficient Of a Slowly Moving Carbon Particle Undergoing Combustion. *Combustion Science and Technology*.
- Mudaim, S., Hidayat, S., & Rusdiana. (2021). Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (Aleurites Moluccana) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi. *JIF (Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika)*, 05(02), 157–163.
- Pambudi, P., Widodo, S., Suharno, K., Teknik, F., & Tidar, U. (2019). Pengaruh variasi jumlah lubang udara terhadap efisiensi kompor biomassa. *Mer-C*, 2(1).
- Pranoto, B., Pandin, M., Rahma Fithri, S., & Nasution, S. (2013). Biomass Potential Map As a Database of National Scale Biomass Energy Development. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(2), 123–130.
- Saravanakumar, A., Haridasan, T. M., Reed, T. B., & Bai, R. K. (2007). Experimental investigation and modelling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier. *Fuel*, 86(17–18), 2846–2856. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.03.028>
- Selilana, E. A., Suwandi, & Ayodha, T. (2017). Pengaruh Tinggi dan Jumlah Lubang Udara pada Tungku Pembakaran Serta Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa. *EProceedings of Engineering*, 4, no 3.
- Singh, R., & Setiawan, A. D. (2013). Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 332–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.043>
- Suhartono, Gasela, F., & Khoirunnisa, A. (2018). Kajian Kinerja Kompor Limbah Biomassa Padat Skala Industri Rumah Tangga. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,” April*, 1–7.