



Analisis pengaruh kecepatan aliran udara terhadap performa kompor biomassa *top-lit up draft* (T-LUD) berbahan bakar biopelet kayu jati - *chips* bambu betung

REDO AJI PUTRA*, ZUROHAINA, DAN NURUL KHOLIDAH

Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan 30139, Indonesia

| | |
|--|---|
| <p>Kata kunci: energi biomassa, biopelet, <i>chips</i> bambu, kompor biomassa</p> | <p>ABSTRAK: Kompor biomassa merupakan suatu alat yang berguna untuk mengkonversi berbagai macam biomassa menjadi sumber energi panas melalui proses pirolisis dan pembakaran. Salah satu parameter penting untuk pengapian pada kompor biomassa yaitu jumlah aliran udara yang disuplai pada proses pembakaran. Tujuan penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan aliran udara dengan sistem udara paksa menggunakan <i>fan</i> terhadap performa kompor biomassa <i>Top-Lit Up Draft</i> (T-LUD) berbahan bakar biopelet kayu jati dan <i>chips</i> bambu betung, sehingga hasil analisis didapatkan kondisi optimum dari performa kompor biomassa dengan parameter berupa efisiensi termal, <i>specific fuel consumption</i>, dan kadar emisi CO hasil pembakaran. Variabel kecepatan aliran udara yang digunakan pada penelitian yaitu 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s dengan bahan bakar campuran 50% biopelet kayu jati : 50% <i>chips</i> bambu betung. Hasil penelitian didapatkan kondisi optimum performa kompor biomassa T-LUD pada kecepatan aliran udara 4 m/s menghasilkan efisiensi termal tertinggi sebesar 29,17%, <i>specific fuel consumption</i> terendah yaitu sebesar 2,038 kg/jam, dan kadar emisi CO sebesar 22 ppm.</p> |
| <p>Keywords: Biomass Energy, Biopellets, Bamboo Chips, Biomass Stove</p> | <p>ABSTRACT: Biomass stove is a useful tool to convert various kinds of biomass into heat energy source through pyrolysis and combustion process. One of the important parameters for ignition in biomass stoves is the amount of airflow supplied in the combustion process. The purpose of this research is to analyse the effect of airflow velocity with a forced air system using a fan on the performance of <i>Top-Lit Up Draft</i> (T-LUD) biomass stoves fuelled by jati wood biopellets and betung bamboo chips, so that the results of the analysis obtained the optimum conditions of biomass stove performance with parameters such as thermal efficiency, specific fuel consumption, and CO emission levels from combustion. The airflow velocity variables used in the study were 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, and 6 m/s with a fuel mixture of 50% jati wood biopellets : 50% betung bamboo chips. The results showed that the optimum performance condition of the T-LUD biomass stove at airflow velocity of 4 m/s resulted in the highest thermal efficiency of 29,17%, the lowest specific fuel consumption of 2,038 kg/hour, and CO emission levels of 22 ppm.</p> |

1 PENDAHULUAN

K eberadaan biomassa sebagai salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui secara berkelanjutan saat ini menyumbang sebesar 14% dari total konsumsi energi secara global, menempati prioritas keempat setelah minyak bumi, gas alam, dan batubara [1]. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) pada tahun 2025 hingga tahun 2050 yang akan datang, mendorong adanya peningkatan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan yang sebelumnya hanya 23% dit-

ingkatkan hingga paling sedikit 31% dari total kebutuhan energi nasional [2].

Adanya dorongan pengembangan pada sektor energi baru terbarukan oleh pemerintah, Indonesia sebagai negara agraria tentunya mempunyai potensi limbah biomassa yang cukup melimpah terutama pada sektor pertanian dan perkebunan seperti tempurung kelapa, cangkang, sekam padi, tongkol jagung, kayu, dan bambu [3]. Biomassa seperti limbah kayu dan bambu di wilayah pedesaan umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar dengan metode pembakaran secara langsung melalui tungku tradi-

* Corresponding Author: ajiputraredo@gmail.com

sional untuk kebutuhan rumah tangga sehingga hal ini menjadi perhatian yang sangat mendasar [1]. Pembakaran langsung pada biomassa kayu dan bambu pada tungku tradisional seperti perapian terbuka tiga batu hingga perapian terbuka menggunakan tungku besi menghasilkan kualitas pembakaran yang tidak baik dengan efisiensi pembakaran yang rendah serta banyak asap atau emisi CO dan polutan yang tinggi disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dan tidak terkendali. Keterbatasan lainnya termasuk konsumsi bahan bakar spesifik yang tinggi dan waktu memasak yang lebih lama [4].

Pemilihan bahan bakar biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung sebagai bahan bakar pada kompor biomassa dikarenakan mudah untuk didapatkan dan sangat berpotensi tinggi karena mengandung sebagian besar unsur karbon yang berkaitan erat dengan nilai kalor atau energi panas yang akan dihasilkan [5]. Selain itu, pencampuran dari kedua jenis bahan bakar biomassa tersebut bertujuan agar tidak hanya berfokus pada pemanfaatan salah satu jenis bahan bakar biomassa sehingga kedepannya dapat dipergunakan secara lebih luas.

Peningkatan efisiensi pembakaran pada teknologi kompor biomassa menerapkan prinsip dasar *Top-Lit Up Draft* (T-LUD) yang melibatkan proses pembakaran dua tahap yaitu pirolisis untuk memproduksi gas-gas mudah terbakar seperti CO, H₂, dan CH₄ serta pembakaran dengan bantuan aliran udara alami maupun udara paksa untuk menghasilkan energi panas dengan nyala api bersih bebas dari asap. Pada penelitian ini difokuskan pada kompor biomassa T-LUD dengan konsep udara paksa menggunakan bantuan *fan*. Hal ini didasarkan karena pada kompor dengan aliran udara alami, pembakaran tidak sempurna besar kemungkinan terjadi akibat pencampuran gas-gas mudah terbakar yang tidak tepat sehingga menurunkan efisiensi pembakaran. Karakteristik kinerja kompor biomassa dengan desain modifikasi *forced draft* jauh lebih baik dibandingkan kompor biomassa *natural draft*, dengan menggunakan rancangan udara paksa dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 40%, mengeluarkan emisi CO 80% lebih sedikit, serta emisi PM_{2,5} yang dapat diabaikan [4]. Selain itu, menurut penelitian Fauzani dkk. [6] tentang perbaikan desain kompor biomassa dengan metode *failure modes and effects analysis*, hasil analisis kualitatif deskriptif yang diberikan mengenai solusi untuk memaksimalkan kinerja dari kompor biomassa dapat dilakukan dengan menambahkan *fan* sebagai suplai udara paksa pada bagian suplai udara kompor biomassa dengan tujuan mempercepat laju proses pema-

karan sehingga mampu mempercepat waktu didih air dan memperkecil hasil residu proses pembakaran akibat banyaknya karbon yang tidak terbakar.

Berdasarkan uraian diatas jumlah aliran udara menjadi parameter penting pada kompor biomassa, sehingga penggunaan *fan* untuk menambah jumlah aliran udara yang disuplai akan memberikan pengaruh terhadap performa dari kompor biomassa. Oleh karena itu, dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis pengaruh kecepatan aliran udara terhadap performa kompor biomassa T-LUD berbahan bakar biopellet kayu jati - *chips* bambu betung dengan parameter yang dianalisis yaitu efisiensi termal, *specific fuel consumption*, dan kadar emisi CO hasil pembakaran, sehingga akan didapatkan kondisi optimum dari performa kompor biomassa T-LUD yang digunakan. Merujuk pada (SNI 7926:2013) standar kinerja yang ditetapkan pada tungku biomassa meliputi nilai efisiensi termal yang dihasilkan memenuhi nilai standar 20% diuji dengan metode *water boiling test* (WBT), *specific fuel consumption* pada kompor maksimum 1 kg/jam, kadar emisi karbon monoksida (CO) tidak melebihi 67 g/kg bahan bakar terkonsumsi [7].

2 METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2024 sampai dengan bulan Juni 2024 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

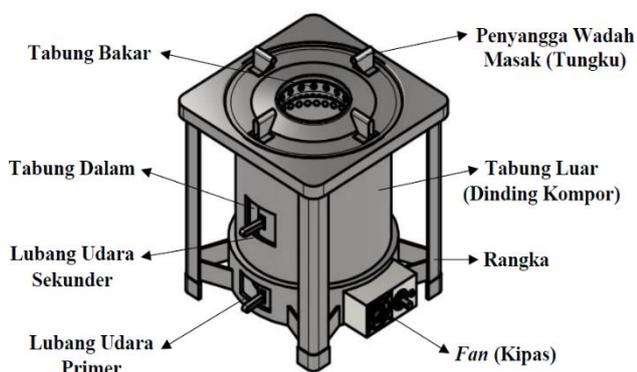
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian untuk dianalisis performanya yaitu seperangkat alat kompor biomassa T-LUD dengan rancangan sistem udara paksa menggunakan *fan* yang dapat diatur pada kecepatan aliran udara 2 - 10 m/s. Desain struktural dari kompor biomassa T-LUD yang digunakan terdiri dari komponen tabung bakar, tabung dalam, tabung luar, lubang udara primer, lubang udara sekunder, *fan*, tungku, dan rangka yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Peralatan pendukung yang digunakan sebagai instrumen pengambilan data berupa panci kapasitas 5000 ml 1 buah, gelas ukur 1000 ml 1 buah, *thermogun* (GM-900) 1 buah, termometer 100°C 1 buah, anemometer digital 1 buah, timbangan ketelitian 1 gr 1 buah, *gas analyzer instrument* 1 buah, *stopwatch* 1 buah, dan pemantik api 1 buah.

Bahan yang digunakan pada penelitian sebagai bahan bakar untuk memenuhi proses pembakaran

pada kompor biomassa T-LUD berupa 2 kg biopellet kayu jati, 2 kg *chips* bambu betung, 8 liter air, dan 1 liter kerosene.



Gambar 1. Desain Struktural Alat Kompor Biomassa T-LUD

Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Perlakuan

Perlakuan penelitian diawali dengan persiapan alat kompor biomassa serta bahan bakar biomassa berupa biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung. Bahan bakar biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung sebelum digunakan pada penelitian performa kompor biomassa dilakukan preparasi ukuran 60 mesh digunakan untuk analisa kandungan *ultimate* (ASTM D5373-16A) di PT Geoservices Coal Laboratory Palembang. Analisa *ultimate* bahan bakar biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung digunakan untuk menentukan kecepatan udara teoritis serta *heating value* bahan bakar biomassa.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian performa kompor biomassa T-LUD melibatkan beberapa variabel dan parameter penelitian yang terdiri dari variabel tetap berupa massa bahan bakar sebanyak 1 kg campuran 50% biopellet kayu jati : 50% *chips* bambu betung, ukuran bahan bakar 2-5 cm, katup lubang udara primer dan sekunder terbuka penuh. Variabel bebas berupa kecepatan aliran udara, dikarenakan kecepatan aliran udara teoritis pada campuran 50% biopellet kayu jati : 50% *chips* bambu betung sebesar 2,6 m/s sehingga digunakan kecepatan aliran udara berlebih yaitu 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Parameter terikat yang akan dianalisis yaitu efisiensi termal, *specific fuel consumption*, dan kadar emisi CO hasil pembakaran. Prosedur pengukuran efisiensi termal, *specific fuel consumption*, dan kadar emisi CO hasil pembakaran pada kompor biomassa dilakukan dengan metode uji *water boiling test* (WBT) berdasarkan pada (SNI 7926:2013).

Prosedur Percobaan Performa Kompor Biomassa (Metode Uji Water Boiling Test)

- Menyiapkan bahan bakar berupa biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung untuk memenuhi proses pembakaran pada kompor biomassa.
- Menimbang campuran bahan bakar 50% biopellet kayu jati dan 50% *chips* bambu betung seberat 1 kg untuk dimasukkan ke dalam tabung pembakaran.
- Alat ukur seperti timbangan digital, *stopwatch*, termometer, *thermogun*, anemometer digital, gelas ukur, dan *gas analyzer instrument* sudah dalam kondisi siap digunakan.
- Menyiapkan 2 liter air pada panci yang akan dididihkan pada kompor biomassa dan mengukur temperatur awal air menggunakan termometer dan dicatat.
- Membuka penuh katup lubang udara primer dan sekunder, kemudian campuran bahan bakar biopellet kayu jati dan *chips* bambu betung dalam tabung tempat pembakaran dibakar menggunakan kerosene sebagai pemicu dan nyalakan dengan pemantik api.
- Mengatur kecepatan aliran udara melalui kontrol putaran *fan* sesuai dengan besar kecepatan aliran udara yang digunakan pada variabel penelitian. Pada saat api sudah menyala rata *stopwatch* diaktifkan.
- Meletakkan panci yang berisi 2 liter air diatas kompor biomassa dan mengaktifkan *stopwatch* secara bersamaan.
- Menunggu air hingga mendidih dan mencatat waktu yang dibutuhkan hingga titik didih air tercapai 100°C terukur melalui termometer kemudian diangkat dari kompor.
- Menimbang kompor biomassa untuk mengetahui massa bahan bakar yang terpakai selama proses pembakaran mendidihkan air.
- Mengukur massa air akhir untuk mengetahui jumlah massa air yang teruapkan.
- Mengukur kadar emisi CO pada nyala api pembakaran menggunakan *gas analyzer instrument*.
- Dengan cara yang sama ulangi langkah yang sama untuk percobaan pada setiap kecepatan aliran udara yang berbeda.

Analisa Data

Data yang diperoleh dari percobaan performa kompor biomassa T-LUD dengan metode uji *water*

boiling test (WBT) selanjutnya dihitung dengan persamaan 1, 2, dan 3 berdasarkan (SNI 7926:2013) kinerja tungku biomassa [7].

Efisiensi Termal

$$\eta = \frac{(m_a \times Cp \times \Delta T) + (\Delta m_a \times L)}{(\Delta m_k \times LHV) + W} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan: η adalah efisiensi termal kompor biomassa (%), m_a adalah massa air awal (kg), Cp adalah kapasitas panas air (4,2 kJ/kg°C), ΔT adalah selisih antara temperatur awal dan akhir air (°C), Δm_a adalah massa air yang teruapkan (kg), L adalah panas laten air pada titik didih (2.257 kJ/kg), Δm_k adalah massa bahan bakar yang digunakan (kg), LHV adalah nilai kalor bersih bahan bakar (kJ/kg), dan W adalah konsumsi energi listrik pada *fan* (kJ).

Specific Fuel Consumption

$$SFC = \frac{\Delta m_k}{\Delta t} \tag{2}$$

Keterangan: *SFC* adalah *specific fuel consumption* (kg/jam), Δm_k adalah massa bahan bakar yang digunakan (kg), dan Δt adalah lama waktu pendidihan air (sekon).

Konversi Kadar Emisi CO dalam ppm

$$\text{Kadar Emisi CO} = \%CO \times 10.000 \text{ ppm} \tag{3}$$

3 HASIL

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil penelitian berupa data hasil analisa *ultimate* bahan bakar biomassa dan hasil perhitungan efisiensi termal, *specific fuel consumption*, serta kadar emisi CO yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil analisa *ultimate* bahan bakar biomassa

| Komponen | Biopellet Kayu Jati (%wt) | Chips Bambu Beringin (%wt) |
|--------------|---------------------------|----------------------------|
| C | 51,03 | 50,56 |
| H | 5,77 | 5,70 |
| N | 0,35 | 0,58 |
| O | 41,71 | 43,08 |
| S | 0,14 | 0,08 |
| Total | 100 | 100 |

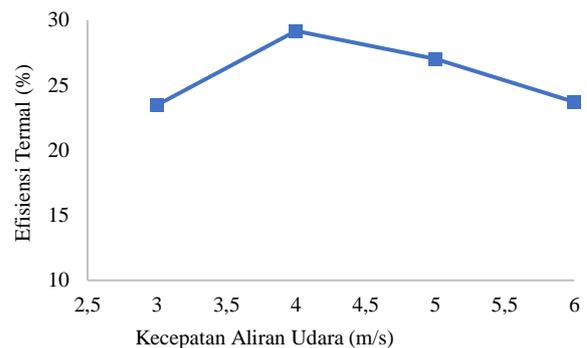
Tabel 2. Hasil perhitungan efisiensi termal, *specific fuel consumption*, dan kadar emisi CO hasil pembakaran pada kompor biomassa T-LUD

| Kecepatan Aliran Udara (m/s) | Efisiensi Termal (%) | Specific Fuel Consumption (kg/jam) | Kadar Emisi CO (ppm) |
|------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| 3 | 23,47 | 2,108 | 101 |
| 4 | 29,17 | 2,038 | 22 |
| 5 | 27,04 | 2,041 | 23 |
| 6 | 23,71 | 2,239 | 36 |

4 PEMBAHASAN

Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Efisiensi Termal

Efisiensi termal merupakan parameter utama untuk mengetahui tingkat performa dari kompor biomassa dengan efisiensi termal standar berdasarkan (SNI 7926:2013) yaitu sebesar 20%. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap efisiensi termal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap efisiensi termal

Efisiensi termal kompor biomassa dihitung dengan membandingkan jumlah panas yang diserap air hingga mencapai titik didih serta panas laten penguapan air dengan panas yang dihasilkan oleh bahan bakar biomassa pada saat pengujian menggunakan metode *water boiling test* (WBT). Berdasarkan grafik pada Gambar 2 dapat dianalisis dengan penerapan suplai udara paksa menggunakan *fan* menyebabkan efisiensi termal kompor biomassa pada semua kecepatan aliran udara yang digunakan berada pada rentang 23,47% - 29,17% dimana efisiensi termal ini sudah sangat baik karena melebihi nilai efisiensi termal standar SNI kompor biomassa yaitu sebesar 20%. Kondisi optimum dengan efisiensi termal tertinggi sebesar 29,17% dihasilkan pada kecepatan aliran udara 4 m/s, kemudian efisiensi termal tertinggi setelahnya dihasilkan pada kecepatan aliran udara 5 m/s yaitu

sebesar 27,04%. Kondisi optimum terjadi karena terpenuhinya kebutuhan oksigen dari udara pembakaran, serta terjadinya turbulensi yang baik antara udara dan gas pirolisis pada zona pembakaran kompor biomassa, sehingga dapat menghasilkan energi panas yang lebih maksimal. Hasil efisiensi termal optimum tersebut sejalan dengan hasil penelitian dan literatur yang menyatakan efisiensi termal kompor biomassa *forced draft* T-LUD dapat mencapai 30% - 37% [8,9].

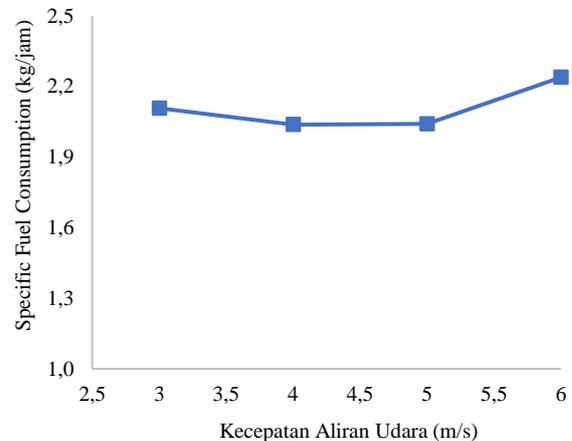
Efisiensi termal terendah dihasilkan pada kecepatan aliran udara 3 m/s yaitu sebesar 23,47% dan diikuti oleh kecepatan aliran udara 6 m/s yaitu sebesar 23,71%. Turunnya efisiensi termal pada kedua kecepatan aliran udara tersebut karena masih kurangnya turbulensi antara udara dan gas pirolisis pada kecepatan aliran udara 3 m/s dan berlebihnya suplai udara pada kecepatan aliran udara 6 m/s menyebabkan pembakaran menghasilkan nyala api yang tidak stabil. Peningkatan efisiensi termal pada kompor biomassa diperlukan pengendalian rasio udara bahan bakar yang sesuai untuk membakar biomassa dan gas pirolisis yang dihasilkan pada kompor biomassa. Suplai udara pembakaran tidak boleh kurang dan juga tidak boleh terlalu berlebihan hal tersebut dapat berdampak pada energi panas yang dapat dihasilkan, sehingga aliran udara yang terkendali kedalam tabung bakar memainkan peran penting dalam peningkatan efisiensi termal. Efisiensi termal kompor meningkat seiring dengan bertambah laju alir udara hingga pada titik optimum, karena meningkatnya kinerja pembakaran melalui turbulensi dan pencampuran gas. Hal ini menghasilkan peningkatan perpindahan panas ke panci masak, sehingga meningkatkan efisiensi termal kompor secara keseluruhan [10,11]. Pada penelitian ini titik optimum efisiensi termal kompor biomassa T-LUD ditemukan pada kecepatan aliran udara 4 m/s.

Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap *Specific Fuel Consumption*

Specific fuel consumption merupakan indikator keefektifan dari pembakaran pada kompor biomassa dengan nilai maksimum sebesar 1 kg/jam. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *specific fuel consumption* dapat dilihat pada Gambar 3.

Specific fuel consumption dihitung dengan membagi jumlah massa bahan bakar yang tergunakan dengan lama waktu pembakaran pada saat uji *water boiling test* (WBT). Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dapat dianalisis bahwa suplai udara yang tepat pada kompor biomassa dapat menyebabkan *specific fuel consumption* cenderung menurun karena mencapai titik optimum dari proses pembakaran. Ke-

cepatan aliran udara suplai yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dengan memastikan pencampuran udara dan bahan bakar yang baik, sehingga proses pembakaran lebih lengkap dan menghasilkan energi panas yang lebih efisien.



Gambar 3. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap *specific fuel consumption*

Kecepatan aliran udara suplai yang optimum dihasilkan pada kecepatan aliran udara 4 m/s dimana *specific fuel consumption* paling rendah yaitu sebesar 2,038 kg/jam, kemudian *specific fuel consumption* yang rendah setelahnya dihasilkan pada kecepatan aliran udara 5 m/s yaitu sebesar 2,041 kg/jam. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kecepatan aliran udara 4 m/s hingga 5 m/s merupakan rentang titik optimum dari proses pembakaran yang terjadi pada kompor biomassa yang digunakan. Pada kecepatan aliran udara 3 m/s *specific fuel consumption* yang dihasilkan pada kompor biomassa lebih tinggi dibandingkan kecepatan aliran udara 4 m/s yaitu sebesar 2,108 kg/jam, hal ini dapat terjadi karena pada kecepatan aliran udara 3 m/s suplai oksigen dari udara pembakaran sudah terpenuhi, namun masih belum mencukupi untuk mencapai titik optimum dari kebutuhan turbulensi udara pembakaran pada kompor biomassa sehingga lebih banyak bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan jumlah energi panas yang sama. Pada kecepatan aliran udara 6 m/s *specific fuel consumption* mengalami peningkatan paling tinggi yaitu sebesar 2,239 kg/jam. Kondisi ini terjadi akibat kecepatan udara suplai yang melebihi titik optimum menyebabkan pembakaran bisa menjadi terlalu cepat dan bahan bakar gas pirolisis yang terbentuk tidak memiliki waktu yang cukup untuk terbakar sepenuhnya dengan oksigen dari udara pembakaran sehingga adanya oksigen dan gas pirolisis yang tidak bereaksi menyebabkan peningkatan emisi dan penurunan temperatur. Kondisi seperti ini menyebabkan pembakaran menjadi tidak stabil sehingga mengakibatkan

kan bahan bakar atau gas pirolisis dapat terbuang sia-sia yang berakhir meningkatkan *specific fuel consumption* pada kompor biomassa.

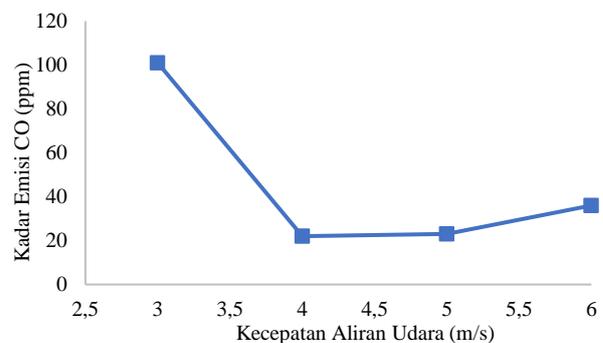
Secara keseluruhan *specific fuel consumption* pada kompor biomassa yang digunakan melebihi nilai SNI kompor biomassa yaitu maksimum sebesar 1 kg/jam, sedangkan pada penelitian yang dilakukan *specific fuel consumption* berada pada rentang 2,038 kg/jam - 2,239 kg/jam. Kondisi ini terjadi karena pada kompor biomassa yang digunakan menggunakan sistem pembakaran udara paksa sehingga laju pembakaran terjadi lebih cepat serta kurangnya kelengkapan isolator pada dinding bagian dalam tabung bakar memungkinkan panas hilang melalui dinding kompor. Akan tetapi, jika dilihat dari segi efisiensi termal yang dihasilkan lebih besar dari SNI standar kompor biomassa sehingga masih dapat dipertimbangkan. Mengutip dari Susastriawan dkk. [12] peningkatan laju aliran udara pada kompor menyebabkan lebih banyak oksigen tersedia dalam proses pembakaran, sehingga meningkatkan laju pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, dan efisiensi termal. Selain itu, Arrahma dkk. [13] menyebutkan bahwa pasokan udara yang melimpah akan memperluas reaksi antara bahan bakar dan oksigen dari udara pembakaran, sehingga lebih banyak bahan bakar yang dapat terbakar berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi termal kompor biomassa.

Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kadar Emisi CO Hasil Pembakaran

Emisi karbon monoksida (CO) merupakan tantangan utama dalam berbagai proses pembakaran yang terjadi karena dampaknya yang tidak baik bagi lingkungan sekitar maupun manusia. Tujuan utama dari kompor biomassa selain meningkatkan efisiensi pembakaran adalah mereduksi atau mengurangi kadar emisi CO yang dihasilkan pada proses pembakaran. Emisi gas CO pada nyala api berasal dari reaksi oksidasi tidak sempurna antara oksigen dan karbon yang terkandung dalam biomassa. Oleh karena itu, pada kompor biomassa menerapkan konsep pembakaran dua tahap yaitu pirolisis dan pembakaran dengan melibatkan penggunaan udara primer sistem paksa dan udara sekunder untuk menjamin tingkat kesempurnaan pembakaran. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap kadar emisi CO hasil pembakaran dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar emisi CO menggunakan gas *analyzer instrument* yang disajikan pada grafik Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai emisi CO hasil pembakaran pada semua kecepatan aliran

udara yang digunakan pada penelitian semuanya telah mencapai standar emisi kesempurnaan pembakaran, dimana berdasarkan (SNI 7926:2013) kadar emisi CO pada tungku biomassa maksimum sebesar 67 gr/kg atau sebesar 67.000 ppm sedangkan hasil penelitian yang dilakukan secara keseluruhan kadar emisi CO hasil pembakaran berada pada rentang 22 ppm - 101 ppm yang berarti dengan menggunakan konsep udara paksa sangat efektif dalam mengurangi kadar emisi CO yang dihasilkan. Kondisi optimum ditemukan pada kecepatan aliran udara 4 m/s dan 5 m/s dengan kadar emisi CO terendah sebesar 22 ppm dan 23 ppm. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa kompor biomassa T-LUD menghasilkan konsentrasi CO hasil pembakaran lebih rendah yaitu 106 ppm pada bahan bakar *wood chunks* dan 46 ppm pada bahan bakar *wood chips* [9,14].



Gambar 4. Grafik pengaruh kecepatan aliran udara terhadap kadar emisi CO hasil pembakaran

Peningkatan kecepatan aliran udara suplai pada kompor dapat memperkecil rasio CO/CO₂ pada emisi gas buang hasil pembakaran [15]. Akan tetapi, peningkatan kecepatan aliran udara juga perlu diperhatikan karena dari penelitian yang telah dilakukan pada kecepatan aliran udara suplai terbesar yaitu 6 m/s menunjukkan hasil yang berbeda dimana terjadi peningkatan kembali kadar emisi CO dibandingkan dengan kecepatan aliran udara 4 m/s dan 5 m/s yaitu sebesar 36 ppm. Hal ini dapat terjadi dikarenakan suplai udara berlebihan dapat mengakibatkan pendinginan dan kurangnya waktu tinggal gas pirolisis pada zona pembakaran yang berdampak pada peningkatan kembali kadar emisi CO, sehingga penting untuk menjaga suplai udara pada tingkat optimum untuk memastikan pembakaran yang efisien dengan emisi CO yang rendah. Samal dkk. [4] melaporkan terlalu sedikit udara menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan terlalu banyak udara menghasilkan nyala api yang tidak stabil dengan mendinginkan gas pirolisis, karena gas pirolisis mengalami pendinginan mengakibatkan

kadar emisi CO meningkat. Sedangkan kadar emisi CO tertinggi dihasilkan pada kecepatan aliran udara 3 m/s yaitu sebesar 101 ppm yang terjadi akibat masih kurangnya turbulensi antara udara dan gas pirolisis pada zona pembakaran kompor biomassa.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dengan penerapan sistem udara paksa menggunakan bantuan *fan* pada kompor biomassa T-LUD berbahan bakar biopellet kayu jati - *chips* bambu betung, didapatkan kondisi optimum dari performa kompor biomassa T-LUD pada kecepatan aliran udara 4 m/s menghasilkan efisiensi termal tertinggi sebesar 29,17%, *specific fuel consumption* terendah sebesar 2,038 kg/jam, dan kadar emisi CO hasil pembakaran sebesar 22 ppm. Hasil ini membuktikan ketika udara paksa disuplai pada kompor biomassa T-LUD akan menyebabkan turbulensi antara udara dan gas pirolisis pada titik optimum pembakaran, sehingga meningkatkan efisiensi termal yang dihasilkan dengan konsumsi bahan bakar dan kadar emisi CO yang lebih rendah memenuhi standar kinerja kompor biomassa berdasarkan (SNI 7926:2013).

REFERENSI

- [1] P. Hwangdee, C. Jansiri, S. Sudajan, dan K. Laloon, "Physical characteristics and energy content of biomass charcoal powder," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 158–169, 2021.
- [2] Kemenkumham, PP No. 79 Tahun 2014: Kebijakan energi nasional, 2014.
- [3] A. Nurwidayati, P. A. Sulastri, D. Ardiyati, dan A. Aktawan, "Gasifikasi biomassa serbuk gergaji kayu mahoni (*Swietenia mahagoni*) untuk menghasilkan bahan bakar gas sebagai sumber energi terbarukan," *Chem. J. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, pp. 67–72, 2019.
- [4] C. Samal, P. C. Mishra, dan D. Das, "Design modifications and performance of biomass cookstoves-A review," *AIP Conf. Proc.*, 2020, vol. 2273, no. 020002.
- [5] D. S. Nawawi *et al.*, "Karakteristik kimia biomassa untuk energi," *Ilmu Teknol. Kayu Trop.*, vol. 16, no. 1, pp. 45–51, 2018.
- [6] A. Fauzani, A. Syukron, dan C. Soolany, "Perbaikan desain kompor biomassa menggunakan metode failure modes and effects analysis," *J. Mek.*, vol. 2, no. 2, pp. 68–72, 2021.
- [7] BSN, SNI 7926:2013 Kinerja tungku biomassa, 2013.
- [8] R. Suresh, V. K. Singh, J. K. Malik, A. Datta, dan R. C. Pal, "Evaluation of the performance of improved biomass cooking stoves with different solid biomass fuel types," *Biomass and Bioenergy*, vol. 95, pp. 27–34, 2016.
- [9] S. R. Kashyap, S. Pramanik, dan R. V. Ravikrishna, "A review of energy-efficient domestic cookstoves," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 236, no. 121510, 2024.
- [10] R. Aprilia dan I. H. Siregar, "Pengaruh laju aliran udara terhadap kualitas nyala api dan efisiensi kompor gasifikasi biomassa tipe updraft dengan bahan bakar tempurung kelapa," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 02, pp. 39–46, 2023.
- [11] U. Hayyat *et al.*, "CFD simulation of a forced draft biomass cookstove for different airflow conditions," *Results Eng.*, vol. 21, no. 101928, 2024.
- [12] A. A. P. Susastriawan, I. G. G. Badrawada, dan D. P. Budi, "An effect of primary air draft and flow rate on thermal performance and CO/CO₂ emission of the domestic stove fed with the briquette of coconut shell," *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 10, no. 4, pp. 1099–1104, 2020.
- [13] D. Z. Arrahma, N. Aryani Tasya, I. Febriana, Y. Bow, dan A. Suci Ningsih, "Analisis kinerja kompor briket ditinjau dari variasi udara masuk dan jumlah lubang pada ruang bakar," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 1, no. 11, pp. 439–446, 2021.
- [14] S. Patel, A. Leavey, S. He, J. Fang, K. O. Malley, dan P. Biswas, "Energy for sustainable development characterization of gaseous and particulate pollutants from gasification-based improved cookstoves," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 32, pp. 130–139, 2016.
- [15] Arif Zakiatul Fikri, A. Rahmawati, A. Manggala, Zurohaina, dan Jaksen, "Uji kinerja prototype kompor briket ditinjau dari variasi ketinggian alas ruang bakar dan pemanfaatan panas buangan menggunakan thermoelectric generator," *J. Kinet.*, vol. 13, no. 03, pp. 37–48, 2022.