

## PENGARUH UKURAN LUBANG UDARA PADA TUNGKU PEMBAKARAN SERTA VARIASI KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP PERFORMA KOMPOR GASIFIKASI UPDRAFT DENGAN OPTIMASI BAHAN BAKAR KAYU SENGON

### *THE INFLUENCE OF SIZE OF AIR HOLES AT GASIFIER WITH AIR FLOW VELOCITY VARIATIONS AGAINST BIOMASS SENGON WOOD FUEL GASIFICATION STOVE PERFORMANCE*

Adinda Raudya Tuzzahra<sup>1</sup>, Suwandi<sup>2</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
adindart@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, suwandi@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
rezafauzii@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

---

#### Abstrak

Pemanfaatan biomassa dapat digunakan sebagai energi alternatif yang dapat diaplikasikan pada kompor dengan teknik gasifikasi biomassa. Pelet kayu sengon dipilih karena memiliki kandungan volatile matter tinggi dan merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang lebih ramah lingkungan dari bahan bakar berbasis fosil seperti minyak tanah dan gas bumi (LPG), memiliki emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dari batu bara dan minyak. Pada penelitian ini, dirancang suatu kompor gas-biomassa menggunakan prinsip Top-Lit Up Draft Gasifier yang memiliki lebar keseluruhan 45 cm, tinggi 60 cm, saluran udara dengan panjang 15 cm serta memiliki tinggi reaktor pembakaran (gasifier) didalamnya yaitu tinggi 15 cm dengan diameter 10 cm. Pada penelitian ini, diujikan tiga buah gasifier didalamnya yang memiliki tiga jenis ukuran lubang yang berbeda (3 mm; 5 mm; 7 mm), dengan dimensi yang sama. Tiap gasifier diberikan delapan variasi kecepatan aliran udara primer (0,5 m/s sampai 6,0 m/s). Pengujian kompor biomassa dilakukan sesuai prosedur SNI Tungku Biomassa 7926:2013. Nilai efisiensi Termal tertinggi yang didapat yaitu mencapai 23,04% untuk gasifier dengan ukuran lubang 7 mm, lalu 20,71% untuk gasifier dengan ukuran lubang 5 mm, dan 20,41% untuk gasifier dengan ukuran lubang 3 mm.

**Kata kunci :** pelet biomassa; pelet kayu sengon; gasifikasi; kompor biomasa; Top-Lit Up Draft Gasifier; SNI Tungku Biomassa.

---

#### Abstract

*The utilization of biomass can be used as an alternative energy that can be used on stoves with biomass gasification techniques. The sengon wood pellet was chosen because it contains high volatile material and is one of the renewable fuels that is more environmentally friendly than fossil-based fuels such as kerosene and natural gas (LPG), has lower CO<sub>2</sub> emissions from coal and oil. In this study, a gas-biomass stove was designed using the principle of Top-Lit Up Draft Gasifier which has an overall width of 45 cm, a height of 60 cm, an air channel with a length of 15 cm and has a height of a combustion reactor (gasifier) in which there is a height of 15 cm with a diameter of 10 cm. In this study, three gasifiers were tested which have three different types of hole sizes (3 mm; 5 mm; 7 mm), with the same dimensions. Each gasifier is given a variation of the primary air flow velocity (0.5 m / s to 6.0 m / s). Biomass stove testing was carried out according to SNI Procedure of Biomass Furnace 7926: 2013. The highest thermal efficiency value obtained was 23.04% for gasifier with a 7 mm hole size, then 20.71% for gasifier with a 5 mm hole size, and 20.41 % for gasifiers with a hole size of 3 mm.*

*Keywords:* biomass pellets; sengon wood pellets; gasification; biomass stove; Top-Lit Up Draft Gasifier; SNI Biomass Furnace.

## 1. Pendahuluan

Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi makin lama semakin menipis. Pada tahun 2016 menurut data Badan Pusat Statistik masih ada sekitar 21,5% masyarakat yang bergantung dengan penggunaan kayu bakar untuk memasak. Meskipun penggunaan gas LPG cukup mengalami peningkatan yang pesat pada tahun 2001 sebesar 8,22% menjadi 72,38% pada tahun 2016, namun pemenuhan kebutuhan LPG masih belum dioptimalkan oleh pemerintah. Berdasarkan hal itu, perlu dilakukan penelitian untuk menemukan cara yang dapat diterapkan agar penggunaan biomassa sebagai sumber energi bagi rumah tangga maupun industri skala kecil. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah kompor gasifikasi atau lebih dikenal dengan sebutan kompor biomassa yang sebelumnya telah diteliti di Indonesia.

Potensi pengembangan kompor biomassa diperlukan untuk mendapatkan performa kompor yang optimal. Jenis kompor gasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Counter Current Fixed Bed atau yang biasa disebut Updraft Gasifier karena dapat menggunakan bahan bakar biomassa jenis apapun dengan komposisi air 20% serta sisa pembakaran yang pembuangannya lebih mudah. Belum banyak yang meneliti tentang pengaruh variasi spesifikasi gasifier pada kompor. Sehingga, modifikasi kompor perlu dilakukan agar penggunaan bahan bakar pelet biomassa semakin efisien dan memberikan dampak negatif sekecil mungkin bagi lingkungan. Modifikasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah mengenai ukuran lubang pada tungku pembakaran (*gasifier*) yang kemudian diuji dengan kecepatan aliran udara yang telah diterapkan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan telah digunakan sejak lama dan ketersediaannya melimpah, kemudian merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik baik yang hidup maupun yang mati, baik yang ada di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah, misalnya pohon, hasil panen, rumput, serasah, akar, hewan dan sisa kotoran hewan

Biomassa pellet kayu sengon sebagai bahan gasifikasi pada kompor memiliki kadar air (*moisture content*) sebesar 2,92 %, kadar abu 1,26 %, volatile matter 57,05 % dan kadar zat terbang 86,10 %. Kadar air yang kecil dibanding biomassa lain membuat kayu sengon mudah digunakan dalam proses pembakaran. Pelet kayu sengon memiliki kerapatan jenis (*bulk density*) 0,46 gr/cm<sup>3</sup>, dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3556,3 s/d 4003,8 kkal [1] dengan konduktivitas panas 0,271 BTU.

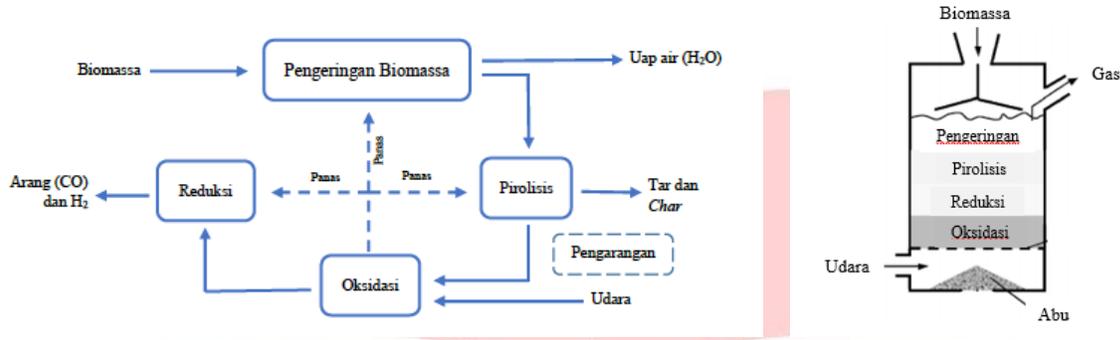


Gambar 1. Pelet kayu sengon

Biomassa pellet kayu sengon yang akan digunakan dalam pengujian kompor biomassa perlu ditimbang terlebih dahulu massa-nya sesuai dengan kapasitas gasifier yang digunakan. Massa pellet kayu sengon yang digunakan adalah 300 g untuk semua tipe gasifier yang digunakan dalam penelitian ini. Penentuan jumlah massa sekam padi yang digunakan berdasarkan kapasitas gasifier dari dasar hingga minimal 1 cm dibawah lubang udara sekunder. Hal tersebut dilakukan agar udara hasil pembakaran gas pirolisis dapat terdistribusi tanpa ada penghalang dari bahan bakar [3].

### 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknik pembakaran atau konversi material cair maupun padat menjadi bahan bakar gas dengan udara yang terbatas. Gas yang dihasilkan dari teknik pembakaran ini memiliki nilai bakar, sehingga dapat menghasilkan energi. Proses gasifikasi pada biomassa akan menghasilkan gas yang utama, yaitu H<sub>2</sub>, CO, dan CH<sub>4</sub>, emisi CO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub>, bahan padat (arang char dan abu), dan bahan cair (steam char) [2].



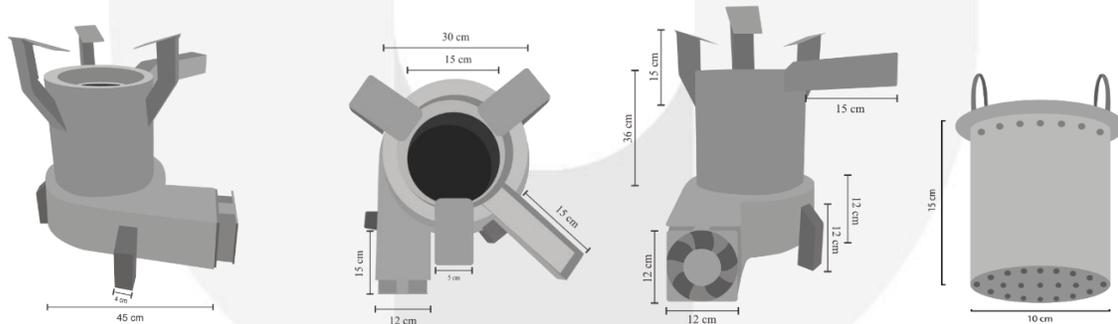
Gambar 2. (a) Proses gasifikasi; (b) Prinsip Top Lit Up Draft (T-LUD) gasifier

### 2.3 Metode SNI Tungku Biomassa 7926:2013

Metode SNI Tungku Biomassa 7926:2013 digunakan untuk menilai kinerja kompor secara terkendali. Tes ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju konsumsi bahan bakar dan nilai efisiensi termal kompor dengan cara sederhana. Tes menggunakan prinsip pemanasan air atau mendidihkan air lalu diuji sesuai parameter uji yang digunakan. Standar minimum efisiensi termal sebesar 20 % dengan menggunakan bahan bakar kayu jati murni. Sedangkan untuk standar laju konsumsi bahan bakar yaitu dapat mendidihkan air menggunakan bahan bakar kurang dari satu kilogram [4].

### 3. Metodologi

Rangka luar kompor terbuat dari besi yang berfungsi sebagai pelindung bagian dalam kompor. Rangka luar kompor memiliki diameter 30 cm dan tinggi 60 cm serta saluran udara dengan panjang 15 cm. Ruang pembakaran (gasifier) berfungsi sebagai tempat proses pembakaran. Dimensi gasifier adalah (15 x 10) cm dengan jumlah total 15 lubang udara pada bagian bawah yang berfungsi sebagai jalur masuk udara primer dan 20 lubang pada bagian atas gasifier dengan masing-masing memiliki tiga variasi ukuran lubang udara (3; 5; dan 7 mm) sebagai jalur keluar api hasil pembakaran gas yang dihasilkan dari biomassa. Pada bagian depan bawah kompor terdapat lubang dengan dimensi (12 x 12) cm yang berfungsi sebagai jalur masuk udara primer hasil aliran udara paksa dari kipas,



Gambar 3. (a) Sketsa kompor tampak samping. (b) Sketsa kompor tampak atas. (c) Sketsa kompor tampak depan. (d) Sketsa gasifier. (e)

Adapun variabel yang akan diuji yaitu variasi ukuran lubang udara gasifier dan variasi kecepatan aliran udara dengan bantuan kipas yang masuk ke dalam kompor gasifikasi biomassa. Untuk pengujian variasi kecepatan aliran udara primer dilakukan dengan mengatur kecepatan putar kipas sehingga dapat menghasilkan kecepatan aliran udara sebesar 0,5 m/s; 1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s; 2,5 m/s; 3 m/s; 3,5 m/s; 4 m/s; 4,5 m/s; 5 m/s; 5,5 m/s; dan 6,0 m/s.

Pengukuran temperatur air yang dididihkan menggunakan sensor termokopel tipe K disambungkan pada modul MAX6675 sebelum dihubungkan dengan Arduino agar dapat diakuisisi data dari sensor tersebut dan data yang terekam oleh serial monitor dapat disimpan serta diolah. Sedangkan untuk kipas akan diberi daya 12 V agar dapat

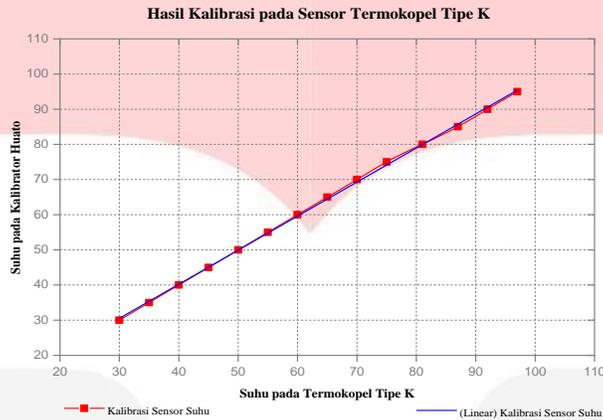
beroperasi, kemudian dihubungkan dengan driver motor sebagai switch atau pengatur keluaran tegangan motor AC pada kipas. Driver motor menerima sinyal dari Arduino agar dapat melakukan hal tersebut. Parameter yang diukur dalam pengujian kompor pada penelitian ini adalah laju kalor, fuel consumption rate (FCR), efisiensi termal, dan persentase char yang dihasilkan.

**4. Pembahasan**

**4.1. Hasil Uji Elektrik Kompor**

**4.1.1. Hasil Kalibrasi Sensor Termokopel**

Kalibrasi sensor termokopel yang digunakan pada pengujian dilakukan agar pengukuran yang dilakukan oleh termokopel dan modul MAX6675 sesuai dengan suhu lingkungan sebenarnya pada digital thermometer Huato HE804. Pengujian dilakukan dengan range suhu 30°C-100°C, dengan peningkatan suhu tiap 5°C.

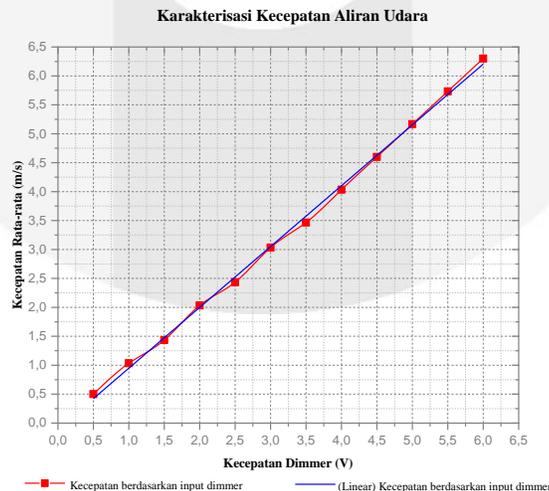


Gambar 4. Kurva kalibrasi sensor suhu yang digunakan terhadap instrumen standar (kalibrator).

Dari gambar 4, diperoleh hasil data kalibrasi yang linier antara nilai baca sensor suhu termokopel dengan nilai baca kalibrator Huato HE804. Rata-rata perbedaan suhu atau error sebesar 0,5oC (0,57 %) dan batas error paling tinggi yang ditoleransi oleh alat ukur kalibrator Huato HE804 adalah 5%.

**4.1.2. Hasil Karakterisasi Kecepatan Aliran Udara Kipas**

Karakterisasi dibutuhkan agar keluaran kecepatan aliran udara kipas sesuai dengan masukan yang diinginkan. Masukan diberikan berdasarkan besar nilai tegangan pada dimmer sehingga kecepatan putar kipas sesuai dengan kecepatan aliran udara yang diinginkan. Rata-rata nilai error yang dihasilkan sebesar 3,5 % dan batas error paling tinggi yang ditoleransi oleh alat ukur Hotwire Anemometer YK-2005AH adalah 5%.



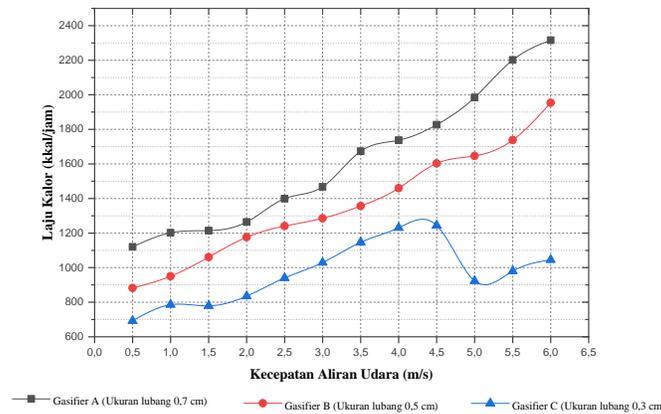
Gambar 5. Kurva karakterisasi kecepatan aliran udara kipas terhadap nilai PWM yang diberikan.

**4.2. Hasil Uji Kompor Gasifikasi**

Analisis pengaruh variasi yang dilakukan pada kompor gasifikasi biomassa dilihat dari waktu operasi, laju kalor, laju konsumsi bahan bakar, efisiensi termal dan persentase char yang dihasilkan

**4.2.1. Laju Kalor (Heat Rate)**

Laju perpindahan kalor pada proses pengujian kompor gasifikasi biomassa menunjukkan kemampuan kompor untuk meningkatkan suhu dan menguapkan air yang dididihkan selama periode waktu kompor beroperasi.



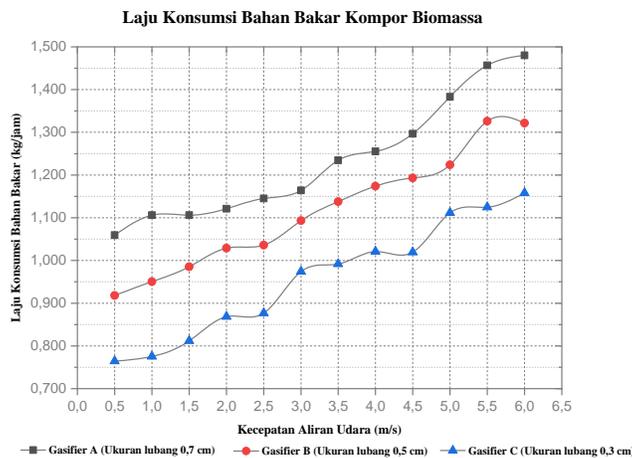
Gambar 6. Grafik laju kalor kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

Gambar 6 menunjukkan laju kalor rata-rata tertinggi diperoleh saat kecepatan 6,0 m/s pada variasi ukuran lubang udara 7 mm dengan  $Q = 2315,981$  kkal/jam, sedangkan laju kalor terendah diperoleh saat kecepatan 0,5 m/s pada variasi ukuran lubang udara 3 mm dengan  $Q = 692,239$  kkal/jam.

Pada grafik ditunjukkan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi laju kalor yang dihasilkan di tiap perlakuan lubang udara gasifier. Semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan maka semakin besar pula perpindahan energi melalui kalor pada proses pengoperasian kompor biomassa. Adapun nilai laju kalor yang fluktuatif pada gasifier dengan ukuran lubang 3 mm terjadi karena kontak antara api dan panci yang tidak stabil/merata sehingga laju perpindahan kalor menyebar dan tidak merata.

**4.2.2 Laju Konsumsi Bahan Bakar (Fuel Consumption Rate)**

Laju konsumsi bahan bakar atau biasa dikenal dengan laju pembakaran di tiap gasifier mengartikan bahwa jumlah bahan bakar biomassa yang diperlukan dibagi dengan waktu operasi setiap variasi lubang udara.

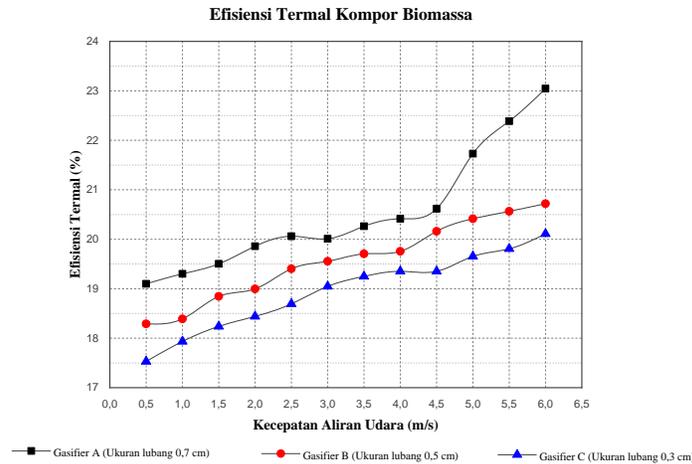


Gambar 7. Grafik FCR kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara

Laju konsumsi bahan bakar cenderung membuat waktu untuk mendidihkan air lebih cepat. Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa variasi kecepatan aliran udara mempengaruhi laju konsumsi bahan bakar (FCR) dimana semakin tinggi kecepatan aliran udara maka nilai FCR cenderung meningkat. Laju konsumsi bahan bakar (FCR) rata-rata terbesar yaitu 1,480 kg/jam dengan kecepatan aliran udara 6,0 m/s pada variasi ukuran lubang udara 0,7 m/s. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar terendah yaitu 0,764 kg/jam dengan kecepatan aliran udara 0,5 m/s pada variasi ukuran lubang udara 3 mm.

**4.2.3. Efisiensi Termal**

Efisiensi Termal menunjukkan jumlah energi kalor yang dibutuhkan untuk mendidihkan dan menguapkan air terhadap jumlah energi kalor yang terdapat di dalam bahan bakar. Berdasarkan grafik

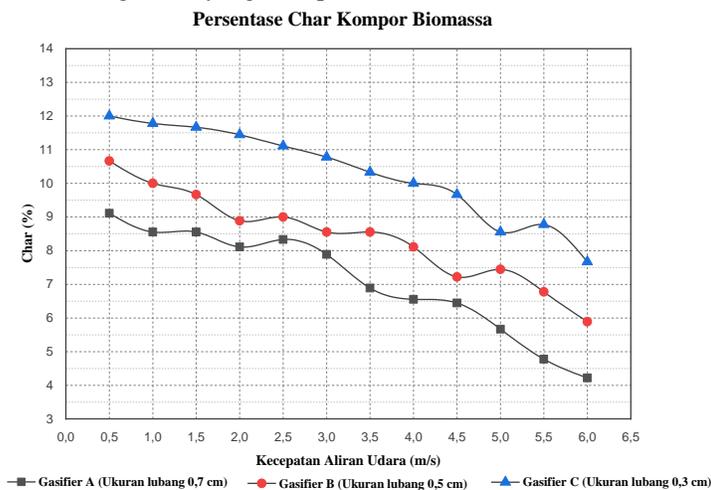


Gambar 8. Grafik efisiensi termal kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara

Pada hasil pengujian, kalor secara langsung mempengaruhi nilai efisiensi termal, semakin besar nilai kalor maka nilai efisiensi termal cenderung semakin besar pula. Efisiensi termal rata-rata tertinggi sebesar 23,04 % diperoleh pada kecepatan 6,0 m/s dengan variasi ukuran lubang udara 0,7 m/s sedangkan efisiensi termal terendah sebesar 17,5 % diperoleh pada kecepatan 0,5 m/s dengan variasi ukuran lubang udara 3 mm.

**4.2.4. Persentasi Char**

Parameter ini merupakan perbandingan antara jumlah energi kalor yang dibutuhkan untuk mendidihkan dan menguapkan air terhadap jumlah energi kalor yang terdapat di dalam bahan bakar.



Gambar 9. Grafik persentase char kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui bahwa persentase arang rata-rata terbesar yaitu 12 % pada kecepatan aliran udara 0,5 m/s pada variasi ukuran lubang udara 3 mm. Sedangkan efisiensi termal terendah yaitu 4,2 % dengan kecepatan aliran udara 0,5 m/s pada variasi ukuran lubang udara 7 mm. Setelah diteliti, variasi kecepatan aliran udara

mempengaruhi persentase arang secara signifikan. Adapun nilai persentase arang yang kecil menunjukkan bahwa semakin besar ukuran lubang pada gasifier maka kinerja kompor semakin baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa biomassa semakin tergasifikasi secara sempurna.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari pengolahan data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kesesuaian performa kompor dengan efisiensi termal terhadap standar metode SNI 7096:2013. Performa kompor yang sesuai dengan standar adalah terdapat pada gasifier dengan ukuran lubang 3 mm yaitu hanya pada kecepatan aliran udara 6,0 m/s mencapai 20,11%. Lalu pada gasifier ukuran lubang 5 mm pada kecepatan aliran udara 4,5; 5,0; 5,5; dan 6,0 m/s yaitu secara berurutan sebesar 20,16%; 20,41%, 20,56%; dan 20,71%. Kemudian untuk gasifier dengan ukuran lubang 7 mm terdapat pada kecepatan aliran udara 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; dan 6,0 m/s yaitu secara berurutan sebesar 20,06%; 20,01%; 20,26%; 20,41%; 20,61%; 21,73%; 22,38% dan 23,04%.
2. Kesesuaian performa kompor dengan laju konsumsi bahan bakar (FCR) terhadap standar metode SNI 7096:2013. Nilai laju konsumsi bahan bakar untuk semua gasifier telah memenuhi standar SNI Tungku Biomassa karena dengan menggunakan bahan bakar <1 kg sudah dapat mendidihkan air.
3. Variasi ukuran lubang udara serta variasi kecepatan aliran udara yang telah diujikan dapat mempengaruhi kinerja kompor gasifikasi. Rata-rata di tiap variasi jumlah lubang udara, semakin besar ukuran lubang maka semakin besar nilai laju kalor, efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar yang didapatkan.
4. Variasi kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap besarnya nilai persentase arang, semakin tinggi kecepatan aliran udara maka semakin rendah nilai persentase arang. Nilai persentase arang yang kecil menunjukkan bahwa semakin besar ukuran lubang pada gasifier maka kinerja kompor semakin baik
5. Berdasarkan perancangan dan optimasi kompor biomassa, didapatkan kondisi terbaik dengan mempertimbangkan rendahnya sisa hasil pembakaran dan efisiensi termal yang didapatkan, yaitu pada variasi ukuran lubang udara gasifier 7 mm.

## Daftar Pustaka:

- [1] Siemers, W. 2006. Prospects for biomass and biofuels in Asia. The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment, Bangkok, Thailand.
- [2] Hendra, D. dan S. Darmawan. 2002. Pembuatan Briket Arang dari Serbuk Gergajian Kayu dengan Penambahan Tempurung Kelapa. Buletin Penelitian Hasil Hutan 18 (1) 1 - 9. Bogor.
- [3] Ramsay, W.S. 1982. Energy form Forest Biomass. Ed Academic Press, Inc. New York.
- [4] Kinerja Tungku Biomassa SNI (Standar Nasional Indonesia). SNI 7926:2013. Badan Standarisasi Nasional, 2013.

