

**PENGARUH LAJU UDARA DAN VARIASI LUBANG TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA WARNA API PADA KOMPOR GASIFIKASI
BIOMASSA**

***THE INFLUENCE OF AIR FLOW AND HOLE VARIATIONS AGAINST THE FLAME
COLOR CHARACTERISTICS OF THE BIOMASS GASIFICATION STOVE***

Ahmad Suzaqi ¹, Drs. Suwandi., M.Si ², Nurwulan F., M.Pfis ³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹suzaqias@student.telkomuniversity.ac.id, ²suwandi@telkomuniversity.ac.id,

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil membuat energi fosil semakin terbatas, contohnya dengan penggunaan minyak tanah dan bahan bakar gas. Oleh karena itu diperlukan energi alternatif lain, salah satunya dengan memanfaatkan energi alternatif yang berasal dari biomassa. Pada penelitian ini menggunakan kompor gasifikasi tipe *updraft* dengan tinggi *gasifier* 40 cm dan diameter 10 cm. Penggunaan kompor gasifikasi tersebut untuk melihat pengaruh variasi laju aliran udara (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s), dengan lima variasi lubang udara pada *gasifier* yaitu 30 lubang udara, 50 lubang udara, 70 lubang udara, 90 lubang udara dan 110 lubang udara. Pengujian kompor gasifikasi *updraft* dilakukan dengan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) tungku biomassa menggunakan bahan bakar pelet kayu mahoni dan tongkol jagung. Hasil pengujian dengan bahan bakar pelet kayu mahoni diperoleh efisiensi termal tertinggi yaitu 20,33 % pada variasi 90 lubang udara dengan laju udara 4 m/s. Sedangkan hasil pengujian menggunakan bahan bakar tongkol jagung diperoleh efisiensi termal tertinggi yaitu 19,32 % pada variasi 90 lubang udara dengan laju udara 4 m/s. Hasil pengujian menghasilkan nyala warna api kuning kemerahan dengan persentase warna pada setiap percobaan masing-masing diatas 90 % warna merah.

Kata kunci : Biomassa, Kompor Gasifikasi *Updraft*, Standar Nasional Indonesia, Tongkol Jagung, Wood Pellet.

Abstract

The dependency from society on fossil fuels makes fossil energy increasingly limited, for example by using kerosene and gas fuels. Therefore, other alternative energy is needed, one of them is by utilizing alternative energy from biomass. In this research, using *updraft* of type gasification stove with *gasifier* height 40 cm and diameter 10 cm. The use of the gasification stove is to see the effect of variations in air flow (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, and 4 m/s), with five variations of air holes in the *gasifier*, namely 30 air holes, 50 air holes, 70 air holes, 90 air holes and 110 air holes. In addition, *updraft* gasification stoves were carried out using the Indonesian National Standard (SNI) method for biomass stoves was carried out using mahogany wood pellets and corn cobs. The results with mahogany wood pellets were obtained by thermal testing, namely 20.33% at a variation of 90 air holes with an air rate of 4 m/s. In the mean time, the test results using corn cobs fuel obtained thermally is 19.32% at a variation of 90 air holes with an air rate of 4 m/s. The test results produced a reddish yellow flame with the percentage of colors in each experiment above is 90% red.

Keywords: Biomass, Corncob, Indonesian Nasional Standart, *Updraft* Gasification Stove, Wood Pellet.

1. Pendahuluan

Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan populasi penduduk, membuat cadangan energi bahan bakar fosil dan gas semakin menipis akibat banyaknya penggunaan untuk kelangsungan hidup manusia [1]. Untuk mengatasi krisis energi diperlukan usaha dengan mencari energi alternatif lain yang berlimpah dan dapat diperbaharui salah satunya dengan pemanfaatan energi alternatif berupa energi biomassa. Biomassa merupakan materi yang berasal dari limbah organik yang dapat diubah menjadi sumber energi yang menghasilkan *Synthetic Gas* (*syngas*) dengan proses gasifikasi [2].

Gasifikasi merupakan proses pembakaran di dalam reaktor dengan temperatur yang tinggi. Proses pembakaran yang terjadi menghasilkan Karbon Monoksida (CO), Hidrogen (H₂), dan gas metana (CH₄) [3]. Dari hasil pembakaran tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar gas untuk kompor gasifikasi dengan memanfaatkan sumber biomassa sebagai bahan bakar.

Kompur gasifikasi *updraft* merupakan kompur dengan sistem arah aliran padatan atau bahan bakar biomassa bergerak ke bawah sedangkan arah aliran gas bergerak ke atas. Penggunaan gasifikasi *updraft* memiliki keunggulan yaitu efisiensi panas yang baik, serta performa kompur dengan mekanisme yang sederhana [4].

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh variasi jumlah lubang udara berbahan bakar pelet kayu mahoni dan tongkol jagung dengan jenis kompur gasifikasi yaitu *updraft*. Pengujian juga dilakukan dengan penambahan variasi laju udara menggunakan kipas yang dikontrol dengan teknik *Pulse Width Modulation* yang digunakan untuk mengontrol kecepatan kipas ketika proses gasifikasi berlangsung.

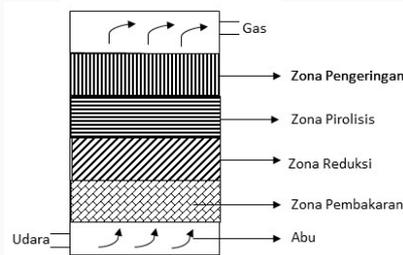
2. Dasar Teori

2.1 Pengertian Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses terjadinya perubahan bahan bakar padat berupa biomassa menjadi gas dengan proses secara termokimia dengan cara oksidasi parsial atau campuran antara udara-bahan bakar pada temperatur tinggi. Hasil pembakaran akan berupa uap air dan karbon dioksida yang direduksi sehingga menjadi gas yang menghasilkan energi. Proses gasifikasi pada biomassa akan menghasilkan gas yang mudah terbakar yaitu karbon monoksida (CO), Hidrogen (H) Metana (CH), dan bahan padat berupa tar dan *char* [5]

Gasifier dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu: gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), dan gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*). *Fluidized bed gasification* adalah sistem yang beroperasi dengan cara membuat fluida partikel bahan bakar dengan gas pendorong udara atau oksigen, yang berfungsi sebagai medium fluidisasi. *Fluidized bed gasification* digunakan untuk aplikasi dalam skala kecil. *Fixed bed gasification* yaitu merupakan sistem dengan skala yang besar yang memiliki bentuk yang menopang bahan bakar dan mempertahankan bahan bakar dalam keadaan tetap. Pada penelitian ini menggunakan *fixed bed gasification* dengan tipe *updraft*.

Gasifikasi tipe *updraft* terdapat satu ruangan, bahan bakar dimasukkan pada bagian atas *gasifier* dan bergerak menuju ke bawah melewati tahap pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi. Api dinyalakan pada bagian bawah dan gas keluar pada bagian atas untuk suplai udara. Penggunaan gasifikasi *updraft* memiliki keunggulan yaitu desain yang sederhana, efisiensi panas yang baik, serta performa kompur dengan mekanisme yang sederhana.



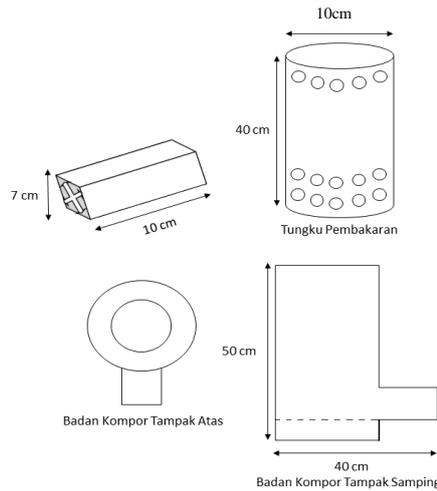
Gambar 1 *Fixed Bed Gasifier* Tipe *Updraft*

2.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa

Dalam penelitian ini menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) 7926:2013 Tungku Biomassa untuk melihat kinerja kompur gasifikasi biomassa. Pengujian dilakukan dengan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa dalam hal laju konsumsi bahan bakar ≤ 1 kg/jam serta efisiensi termal minimal 20 %.

2.3 Rancangan dan Metodologi Penelitian

Kompur gasifikasi yang digunakan merupakan kompur gasifikasi tipe *updraft* dengan desain yang telah ada pada umumnya, perbedaan dari desain sebelumnya yaitu penempatan kipas dengan sistem aliran udara *cyclone* serta tanpa adanya *hopper* untuk memasukkan bahan bakar. Pada bagian badan kompur memiliki tinggi 50 cm dengan diameter luar 40 cm. Sedangkan pada bagian *gasifier* memiliki tinggi 40 cm dan diameter 10 cm dengan variasi jumlah lubang yaitu 30 lubang udara, 50 lubang udara, 70 lubang udara, 90 lubang udara, dan 110 lubang udara serta 30 lubang pada bagian bawah *gasifier*. Rancangan kompur gasifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



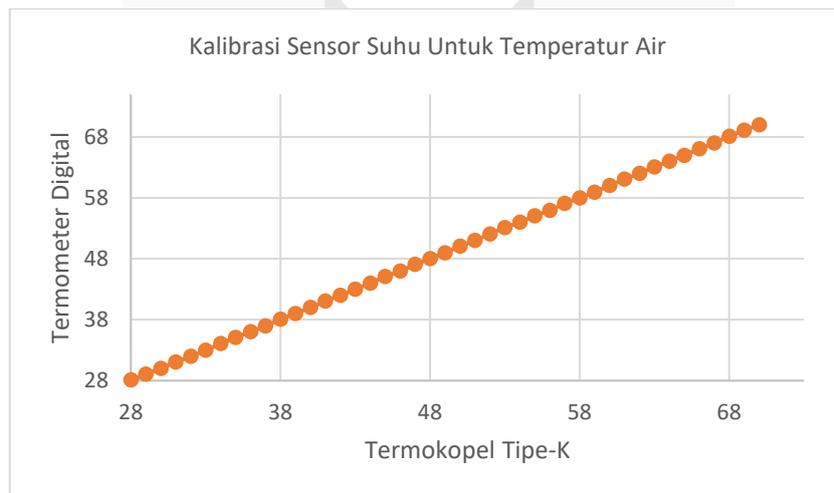
Gambar 2 Desain Kompor Gasifikasi

Variabel pengujian yaitu variasi jumlah lubang udara dan variasi laju aliran udara. Pengujian dengan variasi laju aliran udara menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* yang berfungsi untuk mengatur laju aliran udara yang berbeda menggunakan kipas dengan kecepatan 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s dan 4 m/s. Kipas yang diberi tegangan sebesar 12 Volt. Kemudian driver motor dihubungkan ke kipas yang berfungsi sebagai pengatur tegangan motor DC pada kipas menggunakan teknik PWM untuk mengatur kecepatan kipas. Arduino yang terhubung dengan driver motor akan menerima sinyal yang berfungsi agar driver motor dapat bekerja. Sedangkan pengukuran temperatur air serta temperatur pada *gasifier* menggunakan sensor termokopel tipe K yang disambungkan pada modul MAX6675 yang telah terhubung sebelumnya oleh Arduino untuk mengakuisisi data sehingga data dapat disimpan dan diolah menggunakan komputer atau PC.

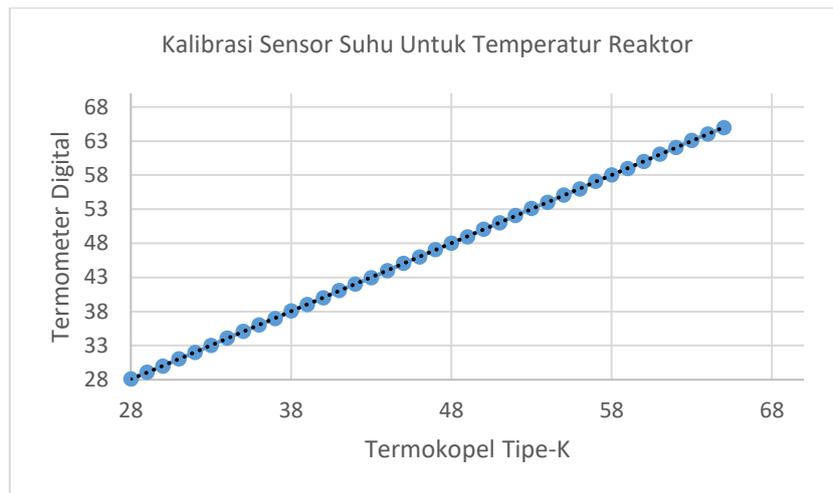
3. Pembahasan

3.1 Kalibrasi Sensor Termokopel

Fungsi kalibrasi temperatur pada sensor termokopel tipe-K dengan penguat dari termokopel MAX6675 yang digunakan pada penelitian ini agar pengukuran temperatur mendapatkan hasil yang sama dan lebih akurat dengan temperatur lingkungan sebenarnya. Pada pengujian ini sensor termokopel yang dipakai sebanyak dua, yaitu untuk pengukuran temperatur air dan pengukuran temperatur reaktor dengan rentang suhu yang dimiliki masing-masing termokopel adalah 0 - 800 °C. Kalibrasi termokopel tipe-K dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



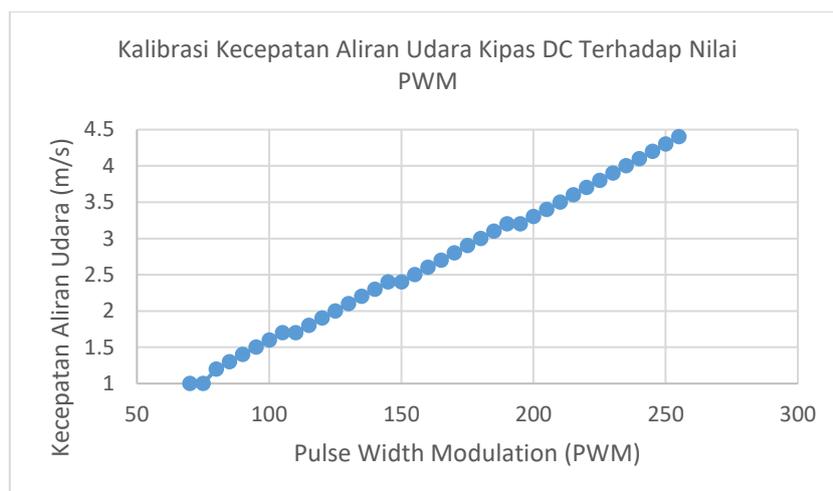
Gambar 3 Kalibrasi Sensor Suhu Untuk Temperatur Air



Gambar 4 Kalibrasi Sensor Suhu Untuk Temperatur Reaktor

3.2 Kalibrasi Kecepatan Aliran Udara

Kalibrasi kecepatan aliran udara pada kipas DC terhadap Anemometer Benetech GM816 berfungsi untuk menghasilkan input yang diinginkan saat pengujian berlangsung. Input yang diberikan pada kipas DC berdasarkan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan rentang 0-255 PWM. Adapun kurva kalibrasi kecepatan aliran udara kipas DC terhadap nilai PWM dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Kalibrasi Kecepatan Aliran Udara Kipas DC Terhadap Nilai PWM

3.3 Hasil Pengujian Kompor Gasifikasi

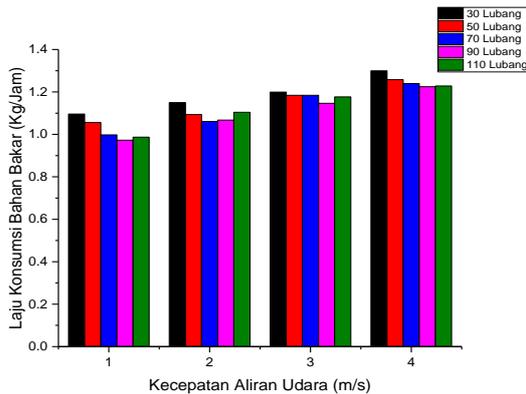
Pengujian dilihat dari parameter pengaruh variasi laju aliran udara dan variasi jumlah lubang pada *gasifier* kompor gasifikasi biomassa tipe *updraft* terhadap nyala warna api. Parameter hasil pengujian juga dilihat berdasarkan laju konsumsi bahan bakar, laju kalor, efisiensi termal, persentase *char*, temperatur nyala api dan nyala warna api.

3.3.1 Laju Konsumsi Bahan Bakar

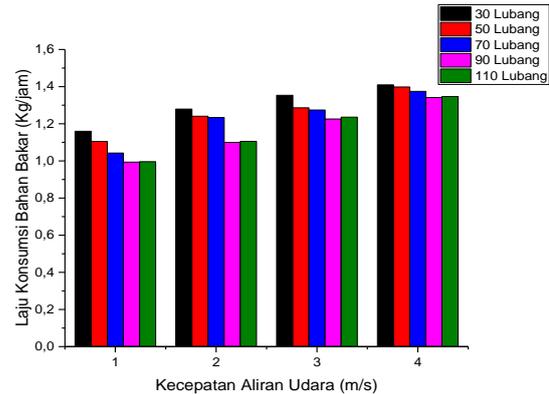
Grafik rata-rata laju konsumsi bahan bakar dengan bahan bakar pelet kayu mahoni terbesar yaitu pada tabung *gasifier* 30 lubang sebesar 1,299 kg/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Laju konsumsi bahan bakar terkecil terdapat pada *gasifier* 90 lubang sebesar 0,972 kg/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik laju konsumsi bahan bakar pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 6.

Sedangkan dengan bahan bakar tongkol jagung rata-rata laju konsumsi bahan bakar terbesar dari *gasifier* 30 lubang sebesar 1,159 kg/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Laju konsumsi bahan bakar terkecil terdapat

pada *gasifier* 90 lubang sebesar 0,993 kg/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik laju konsumsi bahan bakar tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Grafik Rata-rata Laju Konsumsi Bahan Bakar Pelet Kayu Mahoni

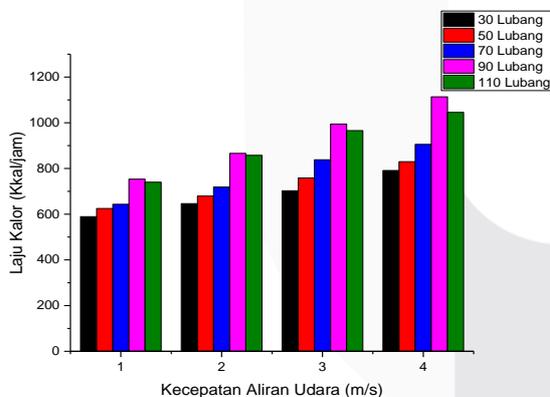


Gambar 7 Grafik Rata-rata Laju Konsumsi Bahan Bakar Tongkol Jagung

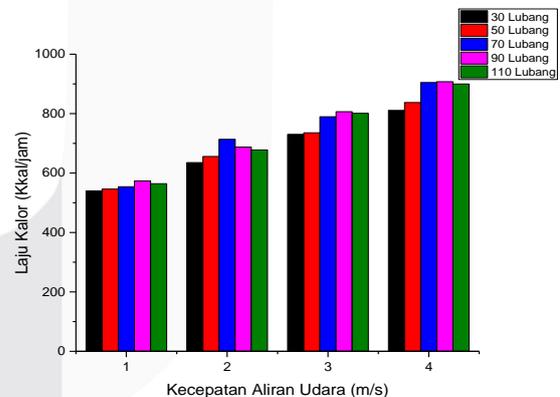
3.3.2 Laju Kalor

Grafik rata-rata laju kalor dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 113,581 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/. Rata-rata laju kalor terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 589,340 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik laju kalor pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 8.

Sedangkan dengan bahan bakar tongkol jagung rata-rata laju kalor tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 113,581 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Rata-rata laju kalor terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 589,340 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik laju kalor tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 8 Grafik Rata-rata Laju Kalor Bakar Pelet Kayu Mahoni

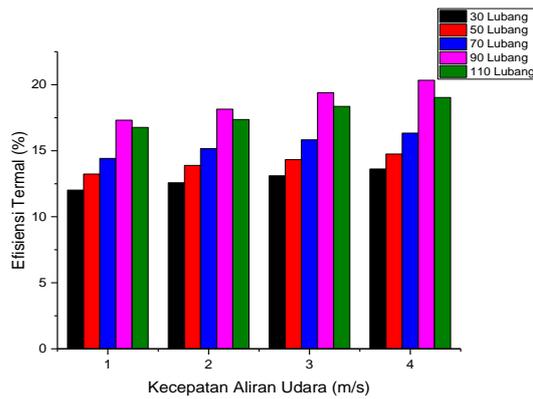


Gambar 9 Grafik Rata-rata Laju Kalor Bahan Bakar Tongkol Jagung

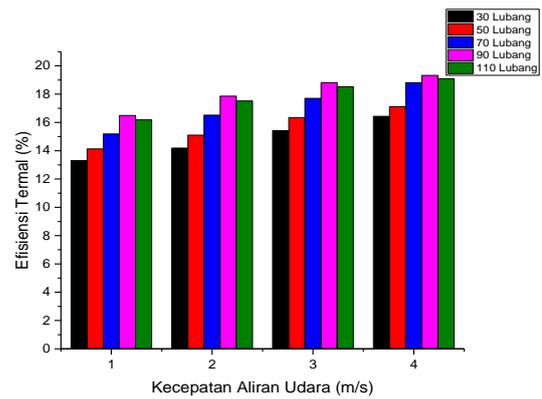
3.3.3 Efisiensi Termal

Grafik rata-rata efisiensi termal dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 20,33% pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Rata-rata efisiensi termal terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 12,02% pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik efisiensi termal pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 10.

Sedangkan rata-rata efisiensi termal bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 19,32% pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Sedangkan rata-rata efisiensi termal terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 13,31% pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Grafik efisiensi termal tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 10 Grafik Rata-rata Efisiensi Termal Bakar Pelet Kayu Mahoni

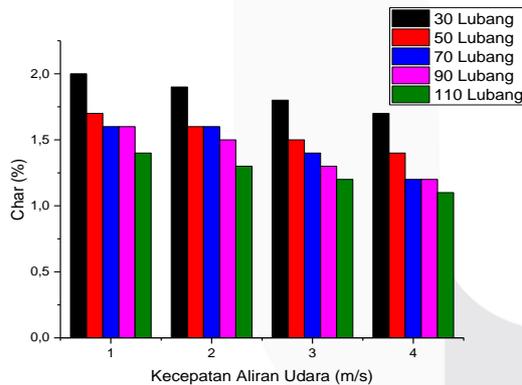


Gambar 11 Grafik Rata-rata Efisiensi Termal Bahan Bakar Tongkol Jagung

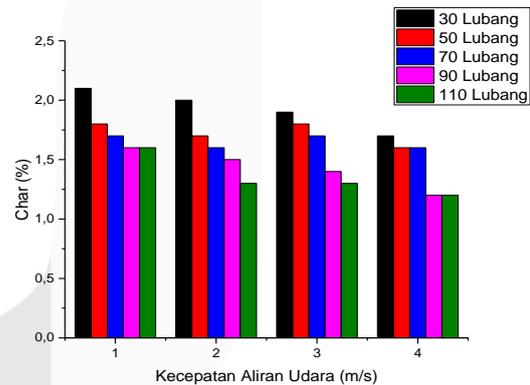
3.3.4 Persentase Char

Grafik rata-rata persentase *char* dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu 2% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase *char* terkecil sebesar 1,1% pada *gasifier* 110 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s. Grafik persentase *char* pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 12.

Sedangkan rata-rata persentase *char* dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu 2,1% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase *char* terkecil sebesar 1,2% pada *gasifier* 110 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s. Grafik persentase *char* tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12 Grafik Rata-rata Persentase Char Bakar Pelet Kayu Mahoni

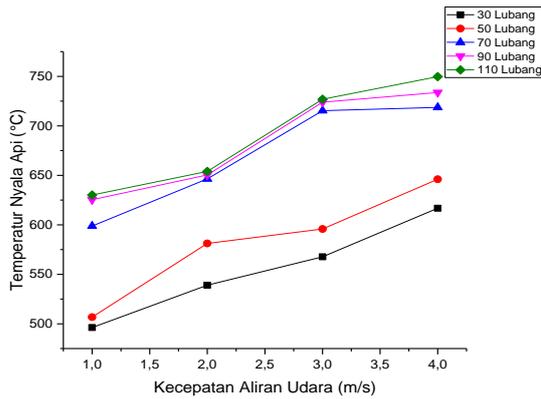


Gambar 13 Grafik Rata-rata Persentase Char Bahan Bakar Tongkol Jagung

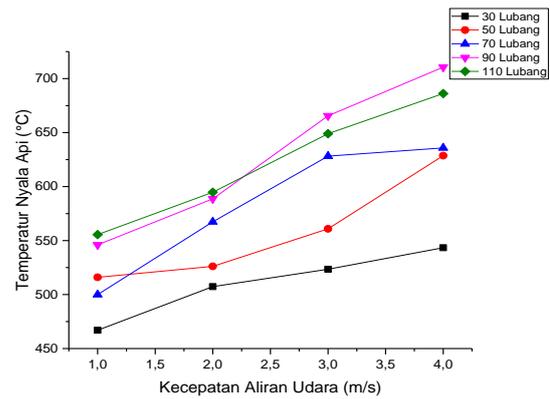
3.3.5 Temperatur Nyala Api

Grafik temperatur nyala api dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 110 lubang sebesar 749,67 °C saat kecepatan 4 m/s dengan bahan bakar yang digunakan pelet kayu mahoni sebanyak 0,5 kg. Sedangkan temperatur nyala api terendah yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 496,20 °C saat kecepatan 1 m/s. Grafik temperatur nyala api pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 14.

Sedangkan rata-rata temperatur nyala api dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 710,42 °C saat kecepatan 4 m/s. Sedangkan temperatur nyala api terendah yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 466,94 °C saat kecepatan 1 m/s. Grafik temperatur nyala api tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 14 Grafik Rata-rata Temperatur Nyala Api Bakar Pelet Kayu Mahoni

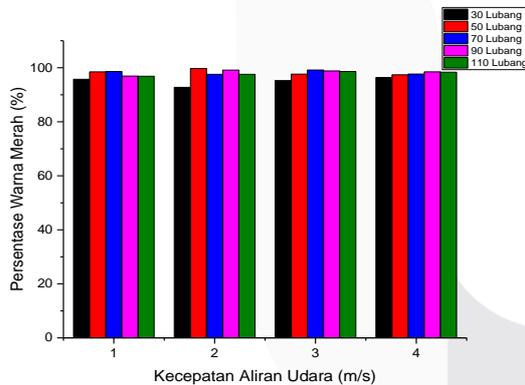


Gambar 15 Grafik Rata-rata Temperatur Nyala Api Bahan Bakar Tongkol Jagung

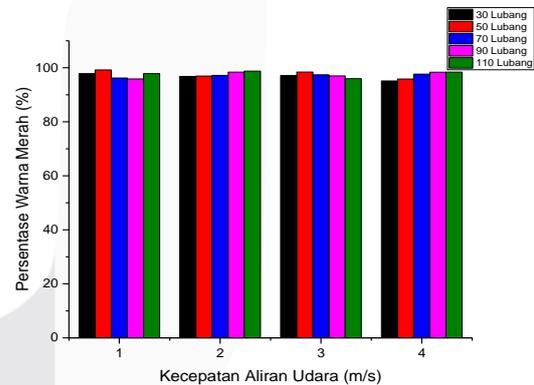
3.3.5 Persentase Warna Nyala Api

Grafik rata-rata persentase api warna merah dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu 99,72% pada *gasifier* 50 lubang dengan kecepatan aliran udara 2 m/s. sedangkan persentase api warna merah terkecil sebesar 92,78% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 2 m/s. Grafik persentase api warna merah pelet kayu mahoni dapat dilihat pada Gambar 16.

Sedangkan rata-rata persentase api warna merah dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu 99,21% pada *gasifier* 50 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase api warna merah terkecil sebesar 95,13% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s. Grafik persentase api warna merah tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 16 Grafik Rata-rata Persentase Api Warna Merah Bakar Pelet Kayu Mahoni



Gambar 17 Grafik Rata-rata Persentase Api Warna Merah Bahan Bakar Tongkol Jagung

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kompor gasifikasi biomassa tipe *updraft* yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik nyala warna api pada masing-masing pengujian menghasilkan hasil rata-rata api berwarna kuning kemerahan dengan persentase warna merah diatas 90 %. Variasi jumlah lubang serta variasi kecepatan aliran udara tidak terlalu berpengaruh terhadap nyala warna api yang dihasilkan. Variasi jumlah lubang serta variasi kecepatan aliran udara hanya berpengaruh terhadap besar kecil nya api yang dihasilkan dalam setiap pengujian.
2. Pengujian kompor gasifikasi biomassa telah menunjukkan performa dan kinerja kompor yang baik, dengan berbagai variasi yaitu jumlah lubang pada *gasifier* yang digunakan, serta kecepatan aliran udara. Pengujian dilakukan dengan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa dalam hal laju konsumsi bahan bakar ≤ 1 kg/jam serta efisiensi termal minimal 20 %.
3. Laju konsumsi bahan bakar dengan bahan bakar pelet kayu mahoni terbesar yaitu pada tabung *gasifier* 30 lubang sebesar 1,299 kg/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Laju konsumsi bahan bakar terkecil

terdapat pada *gasifier* 90 lubang sebesar 0,972 kg/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Sedangkan dengan bahan bakar tongkol jagung rata-rata laju konsumsi bahan bakar terbesar dari *gasifier* 30 lubang sebesar 1,159 kg/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Laju konsumsi bahan bakar terkecil terdapat pada *gasifier* 90 lubang sebesar 0,993 kg/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s.

4. Laju kalor dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 113,581 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/. Rata-rata laju kalor terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 589,340 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Sedangkan dengan bahan bakar tongkol jagung rata-rata laju kalor tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 113,581 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Rata-rata laju kalor terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 589,340 Kkal/jam pada kecepatan aliran udara 1 m/s.
5. Efisiensi termal dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 20,33% pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Rata-rata efisiensi termal terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 12,02% pada kecepatan aliran udara 1 m/s. Sedangkan rata-rata efisiensi termal bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 19,32% pada kecepatan aliran udara 4 m/s. Sedangkan rata-rata efisiensi termal terkecil yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 13,31% pada kecepatan aliran udara 1 m/s.
6. Persentase *char* dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu 2% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase *char* terkecil sebesar 1,1% pada *gasifier* 110 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s. Sedangkan rata-rata persentase *char* dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu 2,1% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase *char* terkecil sebesar 1,2% pada *gasifier* 110 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s.
7. Temperatur nyala api dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu pada *gasifier* 110 lubang sebesar 749,67 °C saat kecepatan 4 m/s dengan bahan bakar yang digunakan pelet kayu mahoni sebanyak 0,5 kg. Sedangkan temperatur nyala api terendah yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 496,20 °C saat kecepatan 1 m/s. Sedangkan rata-rata temperatur nyala api dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu pada *gasifier* 90 lubang sebesar 710,42 °C saat kecepatan 4 m/s. Sedangkan temperatur nyala api terendah yaitu pada *gasifier* 30 lubang sebesar 466,94 °C saat kecepatan 1 m/s.
8. Persentase api warna merah dengan bahan bakar pelet kayu mahoni tertinggi yaitu 99,72% pada *gasifier* 50 lubang dengan kecepatan aliran udara 2 m/s. sedangkan persentase api warna merah terkecil sebesar 92,78% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 2 m/s. Sedangkan rata-rata persentase api warna merah dengan bahan bakar tongkol jagung tertinggi yaitu 99,21% pada *gasifier* 50 lubang dengan kecepatan aliran udara 1 m/s. sedangkan persentase api warna merah terkecil sebesar 95,13% pada *gasifier* 30 lubang dengan kecepatan aliran udara 4 m/s.
9. Variasi jumlah lubang udara pada *gasifier* dan variasi laju aliran udara memberikan pengaruh terhadap kinerja kompor gasifikasi. Semakin banyak lubang, maka semakin besar nilai laju konsumsi bahan bakar, laju kalor, dan efisiensi termal. Begitu pula Semakin tinggi kecepatan aliran udara, maka semakin besar nilai laju konsumsi bahan bakar, laju kalor, dan efisiensi termal.

Daftar Pustaka:

- [1] C.E. Baukal Jr, *Industrial Burners Handbook*, CRC Press, 2004.
- [2] Muslim, Riyadi. “*Pemodelan Peforma Energi Pada Proses Gasifikasi Revused Derived Fuel (RDF) Dari Limbah Padat Home Industry Aren*”. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 2017.
- [3] Rajvanshi, A.K., “*Biomass Gasification*”, in D.Y. Guswani (ed), *Alternative Energy in Agriculture*, CRC Press, Maharashtra, 1986.
- [4] Asih, Erida. “*Pengaruh Tinggi dan Jumlah Lubang Udara Pada Tungku Pembakaran serta Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Biomassa*”. Skripsi. Fakultas Teknik Elektro. Program Studi Teknik Fisika. Universitas Telkom. Bandung. 2017.
- [5] Permata Sari, Dea. “*Pembuatan Bahan Bakar Biopellet Dari Limbah Serbuk Gergajian*”. Teknik Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 2019.