

## PENGARUH JUMLAH LUBANG UDARA PADA TUNGKU PEMBAKARAN SERTA VARIASI KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI DENGAN BAHAN BAKAR PELET KAYU JATI

### *THE INFLUENCE OF TOTAL OF AIR HOLES AT GASIFIER WITH AIR FLOW VELOCITY VARIATIONS AGAINST BIOMASS GASIFICATION PERFORMANCE WITH TEAK WOOD PELLET FUEL*

Rizky Anggara<sup>1</sup>, Suwandi<sup>2</sup>, Reza Fauzi I<sup>3</sup>.

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

[rizkyangga29@gmail.com](mailto:rizkyangga29@gmail.com)<sup>1</sup>, [suwandi.sains@gmail.com](mailto:suwandi.sains@gmail.com)<sup>2</sup>, [rezafauzii@gmail.com](mailto:rezafauzii@gmail.com)<sup>3</sup>.

#### Abstrak

Ketergantungan penggunaan bahan bakar LPG sangatlah tinggi. Pemanfaatan biomassa berupa pelet kayu jati dapat digunakan sebagai energi terbarukan dengan teknik konversi energi berupa gasifikasi biomassa. Pelet kayu dipilih karena ketersediannya yang melimpah serta kandungannya berupa materi volatil yang tinggi dan merupakan bahan bakar ramah lingkungan karena bukan termasuk bahan bakar fosil. Salah satu teknologi alternatif dari teknik konversi yang dapat diterapkan khususnya di wilayah pedesaan berupa kompor gasifikasi dengan pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar. Kompor gasifikasi biomassa yang digunakan dalam penelitian ini berjenis *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier* dengan diameter kompor 30 cm dan tinggi 60 cm. Memiliki tiga buah gasifier dengan variasi jumlah lubang udara 20, lubang udara 30 dan lubang udara 40 serta variasi kecepatan aliran udara primer (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). Pengujian kompor TLUD dengan dua variabel tersebut diharapkan mampu meningkatkan kinerja kompor. Selain kedua variabel tersebut, pengujian kompor TLUD dilakukan dengan prosedur SNI tungku biomassa 7926:2013. Dari pengujian kompor biomassa yang telah dilakukan, waktu operasi paling lama sebesar 23,02 menit pada variasi jumlah lubang udara 40 lubang dengan kecepatan 0,5 m/s. Nilai efisiensi termal tertinggi sebesar 13,55 % pada variasi jumlah lubang udara 40 lubang dengan kecepatan 3,5 m/s.

**Kata kunci :** pelet kayu jati, gasifikasi, *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier*, efisiensi termal.

#### Abstract

Nowadays, the dependence on the use of LPG fuel is still very high. The utilization of biomass as a teak wood pellet can be used as renewable energy with energy conversion techniques in the form of biomass gasification. Wood pellets were chosen because of their abundant availability and their contents including high volatile ingredients and are environmentally friendly fuels because they are not included in fossil fuels. One of alternative technology from techniques that can be used in various fields such as biomass gas as fuel. The biomass gasification stove in this industry is a *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier* with a stove diameter 30 cm and height 60 cm. It has three types of gasifiers with the variations in the number of holes, which are 20, 30 and 40 air holes, also the variations in the velocity of air flow (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). Testing TLUD stoves with two variables with varying amounts in the width of the primary air flow. Besides the variables, TLUD stove testing was carried out with a biomass furnace SNI 7926: 2013. From the characterization of biomass stove that has been done, the longest operation time is 23,02 minutes on the number of 40 air holes variation at a speed of 0,5 m/s. the highest thermal efficiency is 13,55 % on the number of 40 air holes variation at a speed of 2,5 m/s.

**Keywords :** teak wood pellet, gasification, *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier*, thermal efficiency.

## 1. Pendahuluan

Kompor merupakan teknologi yang berperan dalam pemanfaatan energi bagi seluruh lapisan masyarakat. Masyarakat pada umumnya menggunakan kompor dengan bahan bakar LPG karena memiliki keunggulan praktis, efisiensi tinggi, dan bersih. Biomassa adalah bahan atau material dari tanaman mati atau bagian hewan yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar [1]. Energi dari biomassa dapat diperoleh dengan cara pembakaran langsung, gasifikasi (menggunakan oksigen terbatas) atau pirolisis (tanpa adanya oksigen) untuk menghasilkan bahan bakar cair atau gas. Gasifikasi adalah suatu proses di mana bahan padat yang mengandung karbon, seperti batubara atau biomassa diubah menjadi gas. Gasifikasi termasuk proses termokimia, yang berarti bahwa bahan baku dipanaskan pada suhu tinggi, menghasilkan gas yang dapat mengalami reaksi kimia untuk membentuk gas sintesis [2].

Kompor gasifikasi memiliki beberapa jenis diantaranya *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier*, *Fixed Bed Downdraft Gasifier*, *Fluidized Bed Reactor*, *Entrained Flow Gasifier*. Salah satu jenis kompor gasifikasi yang mudah untuk dioptimalisasi adalah *Top-Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier* karena desainnya yang sederhana dan dapat menggunakan bahan bakar biomassa jenis apapun dengan komposisi air kurang dari 20% serta pembuangan sisa pembakaran yang mudah. Potensi pengembangan kompor gasifikasi dengan bahan bakar biomassa masih luas dimana dewasa ini terdapat jenis bahan bakar biomassa pelet kayu dengan efisiensi termal yang tinggi. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan jenis biomassa pelet kayu karena mudah untuk mendapatkannya serta harganya yang terjangkau.

Dalam penelitian ini menggunakan gasifier yang memiliki variasi jumlah lubang berbeda pada bagian lubang sekunder dengan perlakuan 20 lubang, 30 lubang dan 40 lubang. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang udara terhadap kinerja kompor. Selain variasi jumlah lubang udara, dalam penelitian ini pun menerapkan variasi kecepatan aliran udara primer yang mengalir secara konveksi paksa menggunakan *fan* agar proses gasifikasi yang dicapai dapat lebih sempurna sehingga diharapkan dapat menghasilkan nyala api biru dengan efisiensi termal yang lebih baik.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biomassa

Biomassa adalah materi biologis dengan volume yang besar dan berasal dari organisme hidup. Biomassa sebagai bahan baku untuk pemanasan dan pembangkit listrik berkontribusi pada pengurangan emisi karbon secara signifikan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Biomassa sebagai sumber daya dapat diperbarui dikonversi menjadi energi terbarukan dengan teknik konversi energi [1].

Konversi biomassa yang diharapkan menjadi salah satu cara pemanfaatan sumber energi serta mampu mereduksi limbah sektor industri yang ketersediannya terus menerus ada menjadikannya suatu keunggulan. Untuk memanfaatkan biomassa sebagai energi, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan agar metode yang digunakan tepat dan hasilnya optimal. Biomassa yang tersedia di alam sebenarnya dapat dimanfaatkan langsung sebagai bahan bakar, namun biomassa tersebut memiliki kerapatan energi yang kecil sehingga kalor yang dihasilkan pun tidak besar [3].

Kayu Jati merupakan jenis kayu dengan bobot sedang dan tidak terlalu keras. Kayu Jati terkesan berminyak jika disentuh dan mempunyai bau seperti bahan penyamak yang mudah hilang. Serbuk gergaji kayu jati merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pelet kayu sebagai hasil dari peningkatan nilai limbah. Pelet merupakan hasil penempaan biomassa yang mempunyai tekanan lebih besar daripada proses pembuatan briket. Pelet kayu yang dihasilkan memiliki diameter antara 3-12 mm dengan panjang antara 6-25 mm [4].



**Gambar 1.** Pelet kayu jati

## 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan suatu proses dekomposisi kimia dan termal dengan teknik pembakaran atau konversi material menjadi bahan bakar gas dengan udara yang terbatas. Gas hasil dari proses gasifikasi memiliki nilai bakar, sehingga dapat menghasilkan energi. Proses gasifikasi pada biomassa menghasilkan gas yang sebagian besar terdiri dari H<sub>2</sub>, CO, dan CH<sub>4</sub>, emisi CO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub>, bahan padat (arang dan abu), dan bahan cair (steam char)[5,6].

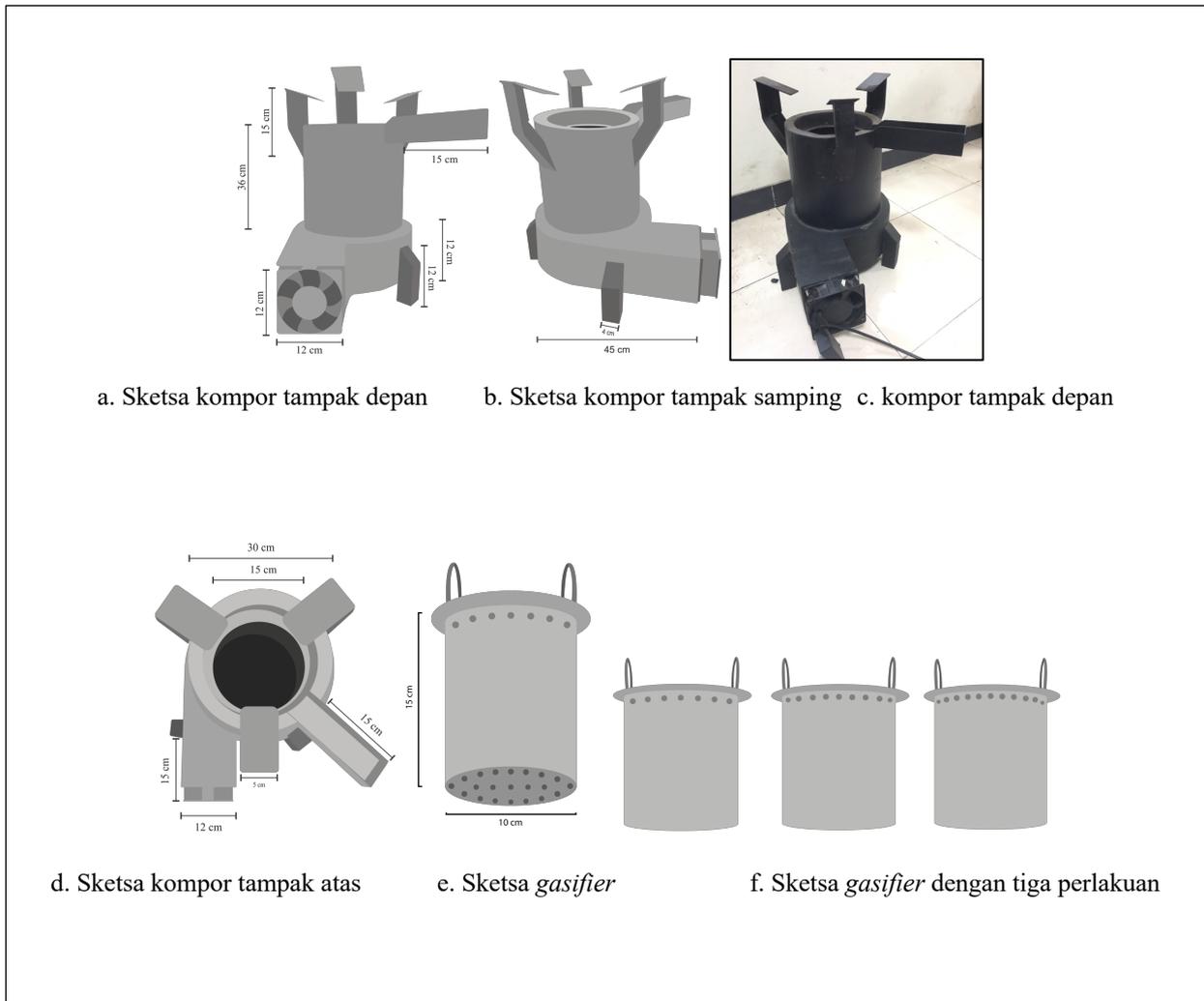
Proses gasifikasi terdiri dari 4 tahapan yang terjadi di dalam ruang bakar (*gasifier*) yakni pengeringan, dekomposisi termal (*pyrolysis*), pembakaran parsial (*oxidation*) serta reduksi. Tahapan tersebut diasumsikan sebagai bagian-bagian proses dalam *gasifier*. Terdapat dua jenis *gasifier* yaitu *fixed bed gasifier* dan *fluidized bed gasifier*. *Fixed bed system* merupakan sistem yang memiliki garangan (*grate*) sebagai ruang pendistribusian udara dan bertujuan untuk menopang bahan bakar serta mempertahankan api dari bahan bakar dalam keadaan tetap seperti fluida[7]. Berdasarkan arah aliran udaranya, *fixed bed system* dibagi menjadi tiga jenis yaitu arah aliran udara ke atas, arah aliran udara ke samping atau horizontal dan arah aliran udara ke bawah. Jenis *top-lit updraft gasifier* memiliki sistem aliran udara yang disuplai dari bagian bawah *gasifier*, api juga menyala mulai dari bagian bawah *gasifier* dan gas panas bergerak ke atas serta keluar menuju atmosfer, sementara sisa bahan bakar terus-menerus bergerak ke bawah secara berkelanjutan sebagai akibat dari proses pirolisis. *T-LUD* memiliki kelebihan, yaitu sederhana, efisiensi termal tinggi, dan masih dapat melakukan pembakaran meskipun *moisture content* dari biomassa mencapai 60% namun memiliki suhu pembakaran rendah [8].

## 2.3 SNI Tungku Biomassa

Metode SNI Tungku Biomassa 7926:2013 digunakan untuk menilai kinerja kompor secara terkendali. Tes ini bertujuan untuk menguji efisiensi termal kompor dengan cara sederhana dibandingkan tes lainnya. Tes menggunakan prinsip pemanasan air atau mendidihkan air dengan bahan bakar seminimal mungkin lalu diuji sesuai parameter uji yang digunakan seperti efisiensi termal, laju kalor dan kinerja lainnya. Pada pengujian, titik didih air tidak harus 100 °C, tetapi mengikuti nilai titik didih berdasarkan ketinggian lokasi pengujian[9].

## 3. Metodologi

Kompor gasifikasi biomassa memiliki tinggi 60cm dengan lebar luar 30cm dan panjang 45 m. memiliki *gasifier* (ruang bakar) berbentuk silinder dengan tinggi 15cm dan lebar 10cm. terdapat lubang pada bagian atas kompor yang berfungsi sebagai jalur keluar api sehingga api dapat mengenai panci untuk mendidihkan air. Di bagian samping dari lubang terdapat penyangga yang berfungsi untuk menaruh wadah yang berisi air. 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. Terdapat lubang udara pada bagian bawah sebagai jalur masuk udara primer dan lubang udara pada bagian atas sebagai jalur keluar api hasil pembakaran gas pirolisis. Ukuran lubang udara adalah 0,3cm untuk keseluruhan *gasifier*.



**Gambar 2.** Rancangan Kompor Gasifikasi Biomassa

Terdapat dua variabel yang akan diuji yaitu variasi jumlah lubang udara *gasifier* dan variasi kecepatan aliran udara primer. Untuk variasi jumlah lubang udara *gasifier*, dilakukan tiga perlakuan yaitu *gasifier* dengan lubang udara atas 20 lubang, *gasifier* dengan lubang udara atas 30 lubang dan *gasifier* dengan lubang udara atas 40 lubang. Untuk variasi kecepatan aliran udara primer dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putar kipas AC oleh dimmer agar menghasilkan kecepatan aliran udara yang sesuai dengan range kecepatan 0,5 m/s, 1,0 m/s, 1,5 m/s, 2,0 m/s, 2,5 m/s, 3,0 m/s, 3,5 m/s, 4,0 m/s. Pengukuran temperatur air mendidih dilakukan menggunakan sensor termokopel tipe-K yang telah dihubungkan pada modul MAX6675 dan arduino UNO supaya data dapat diakuisisi dan data dapat disimpan.

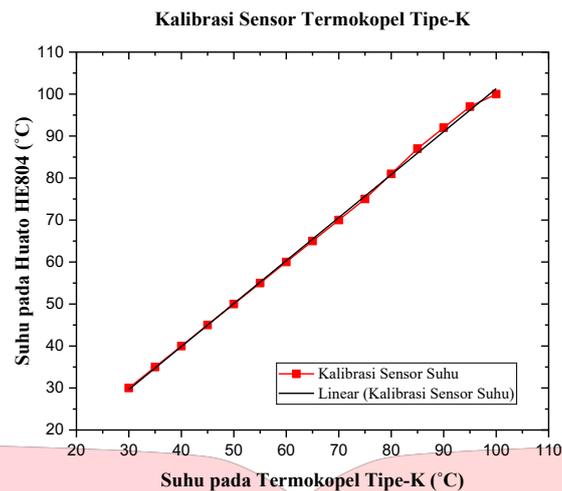
#### 4. Pembahasan

##### 4.1 Hasil Uji Sistem Elektrik Kompor

Kompor gasifikasi biomassa diuji dengan dua variabel yaitu variasi jumlah lubang udara dan variasi kecepatan aliran udara. Parameter uji yang akan dicapai berupa efisiensi termal, laju kalor, laju konsumsi bahan bakar dan persentase char yang sesuai dengan standar SNI Tungku Biomassa.

##### 4.1.1 Kalibrasi Sensor Termokopel

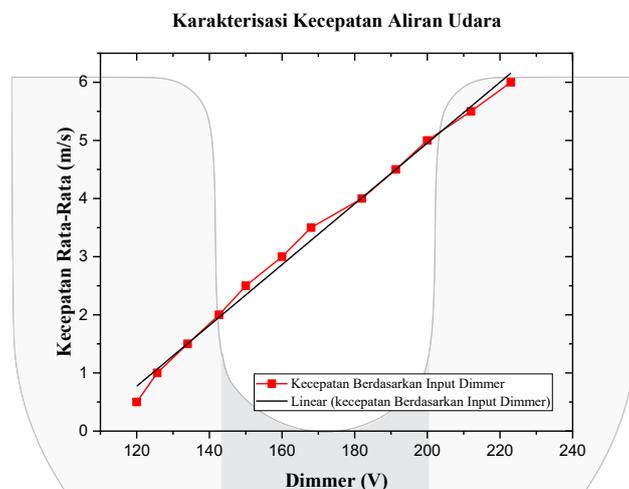
Kalibrasi sensor termokopel yang digunakan pada penelitian bertujuan supaya pada saat pengukuran suhu oleh termokopel dan modul MAX6675 dapat sesuai dengan suhu lingkungan sebenarnya yang tertera pada digital termometer Huato HE804. Kalibrasi dilakukan pada range suhu 30 °C-100°C dengan peningkatan suhu setiap 5°C. 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 0,5 °C (0,57 %).



**Gambar 2.** Kurva kalibrasi sensor suhu yang digunakan terhadap instrument standar.

#### 4.1.2 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.



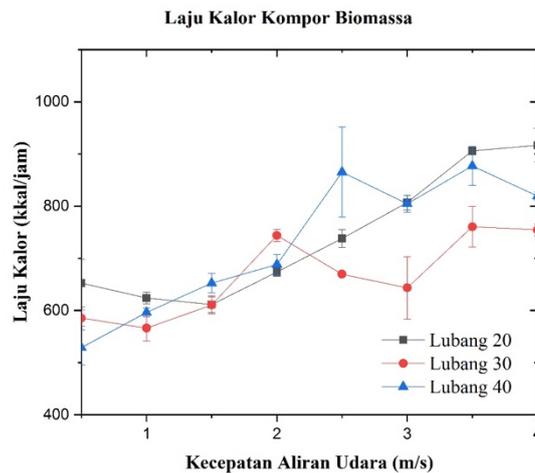
**Gambar 3.** Kurva karakterisasi kecepatan aliran udara terhadap nilai dimmer yang diberikan.

#### 4.2 Hasil Uji Kompom 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

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. Karena massa bahan bakar yang sama pada tiap variasi lubang udara, maka kalor sensibel ditiap *gasifier* bernilai sama dengan selisih suhu selama waktu operasi. Gambar 4.3 menunjukkan laju kalor tertinggi diperoleh saat kecepatan 2,5 m/s pada variasi jumlah lubang udara 40 dengan  $Q = 987,29$  kkal/jam, sedangkan laju kalor terendah diperoleh saat kecepatan 0,5 m/s pada variasi jumlah lubang udara 40 dengan  $Q = 520,18$  kkal/jam.

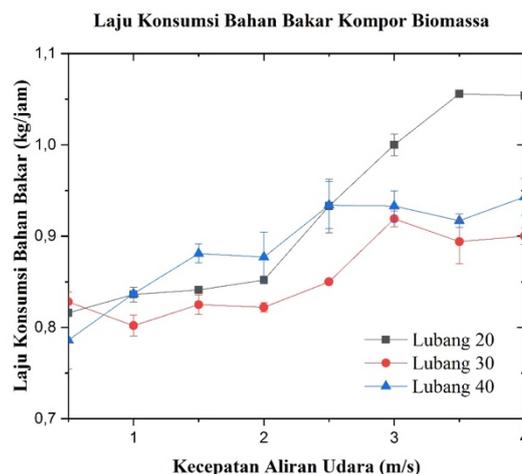


**Gambar 4.** Grafik laju kalor kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi laju kalor yang dihasilkan ditiap perlakuan lubang udara *gasifier*. Semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan msks semakin besar pula perpindahan energi melalui kalor pada proses pengoperasian kompor biomassa. Adapun nilai laju kalor yang fluktuatif 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 (FCR)

Laju konsumsi bahan bakar/laju pembakaran ditiap *gasifier*, ditiap variasi lubang udara dan ditiap kecepatan memenuhi standar SNI Tungku Biomassa yaitu dibawah 1 kg/jam.

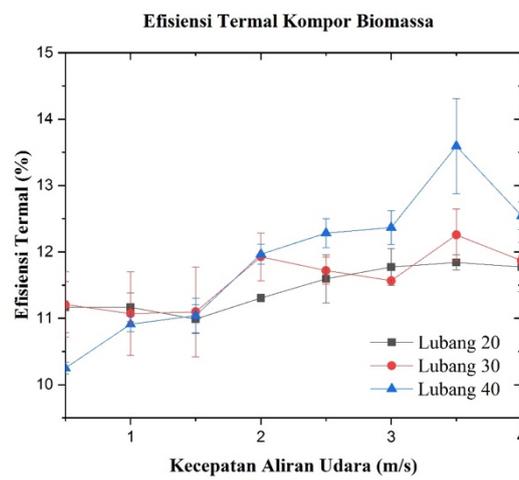


**Gambar 5.** Grafik FCR kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

Laju konsumsi bahan bakar cenderung membuat waktu untuk mendidihkan air lebih cepat. Berdasarkan Gambar 4.4 diketahui bahwa variasi kecepatan aliran udara mempengaruhi FCR, semakin tinggi kecepatan aliran udara maka nilai FCR cenderung meningkat. Laju konsumsi bahan bakar (FCR) terbesar yaitu 1,05 kg/jam dengan kecepatan 3,5 m/s pada variasi jumlah lubang udara 20.

#### 4.2.3 Efisiensi Termal

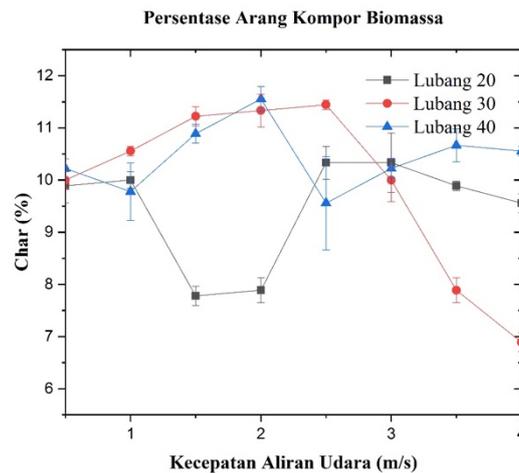
Efisiensi termal tertinggi sebesar 13,55 % diperoleh pada kecepatan 3,5 m/s dengan variasi jumlah lubang udara 40 dan efisiensi termal terendah sebesar 10,25% diperoleh pada kecepatan 0,5 m/s dengan variasi jumlah lubang udara 40. Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui bahwa nilai optimal efisiensi termal berada pada jumlah lubang udara 40 dan kecepatan aliran udara 3,5 m/s. nilai efisiensi cenderung naik pada jumlah lubang udara 40, adanya penurunan nilai efisiensi termal karena kalor yang terdapat pada kompor tidak seluruhnya berpindah ke panci sehingga kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air berkurang. Kalor secara langsung mempengaruhi nilai efisiensi termal, semakin besar nilai kalor maka semakin besar pula nilai efisiensi termal.



**Gambar 6.** Grafik efisiensi termal kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

#### 4.2.4 Persentase Char

Pelet kayu jati jika dibakar akan menghasilkan jumlah *char* sekitar 1,34-1,47% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4. Kompor biomassa yang menggunakan biomassa pelet kayu jati tentunya akan menghasilkan jumlah *char* yang besar, terlebih pada penelitian ini kompor menggunakan prinsip T-LUD dengan penyalaan api bagian paling atas biomassa sehingga *char* (arang) langsung terbentuk pada awal operasi kompor. Gambar 4.6 menunjukkan persentase *char* yang dihasilkan di tiap variasi lubang udara lebih tinggi jika dibandingkan dengan data pada tabel 2.4. Persentase *char* paling tinggi didapatkan pada variasi jumlah lubang udara 40 sebesar 11,55 % diperoleh pada kecepatan 2 m/s.



**Gambar 7.** Grafik persentase *char* kompor biomassa pada setiap variasi lubang udara.

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa variasi kecepatan aliran udara mempengaruhi persentase arang. Nilai persentase arang yang kecil menunjukkan biomassa semakin tergasifikasi secara sempurna. Adapun nilai persentase arang yang fluktuatif karena biomassa tidak tergasifikasi secara sempurna akibat dari proses pembakaran yang tidak menyebar secara merata

## 5 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa simpulan. Performa kompor yang diuji menghasilkan nilai efisiensi termal paling tinggi sebesar 13,55 %. Nilai Laju konsumsi bahan bakar memenuhi standar SNI Tungku Biomassa karena dengan menggunakan bahan bakar <1 kg sudah dapat mendidihkan air. Selain itu hasil pengujian juga memiliki kelebihan waktu nyala api yang relatif lama yaitu 23,02 menit.

Variasi jumlah lubang udara yang diterapkan memberikan pengaruh pada kinerja kompor gasifikasi, rata-rata di tiap variasi jumlah lubang udara, semakin banyak jumlah lubang maka semakin besar nilai laju kalor, efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar. Variasi kecepatan aliran udara yang diterapkan memberikan pengaruh pada kinerja kompor gasifikasi. Rata-rata di tiap variasi jumlah lubang udara, semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan maka semakin besar nilai laju kalor, efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar. Kondisi optimal kompor gasifikasi berada pada variasi jumlah lubang udara 40 dan kecepatan aliran udara 3,5 m/s karena memiliki nilai laju kalor yang relatif besar dan efisiensi termal yang tinggi. Selain itu dengan nilai FCR yang besar maka waktu untuk mendidihkan air lebih cepat.

Persentase *char* yang dihasilkan dari pengujian kompor gasifikasi biomassa dalam penelitian ini membuktikan bahwa prinsip T-LUD yang diterapkan pada kompor gasifikasi biomassa menghasilkan *char* dalam jumlah banyak. Variasi jumlah lubang udara berpengaruh terhadap besarnya nilai persentase arang, semakin banyak jumlah lubang maka semakin besar nilai persentase arang. Variasi kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap besarnya nilai persentase arang, semakin tinggi kecepatan aliran udara maka semakin tinggi nilai persentase arang.

**Daftar Pustaka**

- [1] S. Canzana C., *Biomass Energy Conversion*, Texas A&M University, USA, 2011.
- [2] Wahyuni, Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5 dari Bahan Dasar Alami dengan Metode Hidrotermal Menggunakan Air Laut, Padang: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, 2014.
- [3] Outlook energi Indonesia 2016, Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional (DEN), 2016.
- [4] Ramsay, W.S. 1982. *Energy form Forest Biomass*. Ed Academic Press, Inc. New York.
- [5] Muharnif, "Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Proses Gasifikasi," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Tinggi*, vol. 3, 2010.
- [6] Juliastuti, Rizka, "Pembuatan Stirena Dari Limbah Plastik Dengan Metode Pirolisis" *Jurnal Teknik Pomits2*, 2013.
- [7] Nugraha dan Rahmat, Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani, 2008.
- [8] C. O. Akudo, *Quantification of Tars and Particulates from A Pilot Scale, Downdraft Biomass Gasifier.*, *Faculty of The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical Collage*, 2008.
- [9] Kinerja Tungku Biomassa SNI (Standar Nasional Indonesia). SNI 7926:2013. Badan Standarisasi Nasional, 2013.

