

PENGARUH VARIASI JUMLAH LUBANG UDARA PADA RUANG BAKAR TUNGKU GASIFIKASI TIPE DOWNDRAFT TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI

THE INFLUENCE OF VARIATION OF HOLE ON THE GASIFIER AGAINST THE PERFORMANCE OF THE DOWNDRAFT TYPE OF GASIFICATION STOVES

Caleb Joshua Charisma¹, Drs. Suwandi, M.Si², Nurwulan F., M.Pfis³

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹joshuacaleb@student.telkomuniversity.ac.id, ²Suwandi.sains@gmail.com,

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada umumnya masyarakat menggunakan energi dari sektor rumah tangga, transportasi, dan industri besar maupun industri kecil. Penggunaan energi terbesar di Indonesia saat ini masih menggunakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yaitu pemakaian minyak dengan presentase sebesar 41,44%. Hal ini menyebabkan terjadinya kelangkaan pada sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Solusi alternatif yang ditawarkan untuk memanfaatkan sumber energi lain di sektor rumah tangga adalah pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar. Penggunaan tempurung kelapa dipilih karena ketersediaannya yang melimpah serta dapat meningkatkan nilai guna dari tempurung kelapa yang belum dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat sebagai bahan bakar. Cara yang tepat adalah dengan mengkonversi bahan bakar biomassa menggunakan gasifikasi biomassa. Kompor gasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *downdraft gasifier* dengan memvariasikan jumlah lubang pada *gasifier* yaitu 20, 25, 30, 35, dan 40 lubang. Pengujian kompor gasifikasi tipe *downdraft* dengan memvariasikan jumlah lubang pada *gasifier* diharapkan dapat meningkatkan kinerja kompor gasifikasi dengan metode pengambilan data menggunakan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa 7926:2013. Dari pengujian yang dilakukan didapat bahwa nilai efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar terbaik pada jumlah lubang 20 sebesar 14,21% dan 0,74 kg/jam.

Kata Kunci: biomassa, kompor gasifikasi, *downdraft*, Standar Nasional Indonesia, tempurung kelapa

Abstract

In general, people use energy from various sector, such as household, transportation, and large and small industries. Currently, the largest energy use in Indonesia still using non-renewable energy sources, that is oil fuel with a percentage of 41,4%. This leads to shortages in non-renewable energy sources. The alternative solution that offered to utilize other energy sources in the household sector is the use of biomass as a fuel. The use of coconut shells was chosen because of its abundant availability and can increase the use value of coconut shells that can not be fully utilized by the community as a fuel. The right way is to convert biomass fuel using biomass gasification stove. The gasification stove that used in this study is the *downdraft gasifier* with variations in the number of holes in the *gasifier*, it is 20, 25, 30, 35, and 40 holes. The testing of the *downdraft*-type gasification stove by varying the number of holes in the *gasifier* is expected to improve the performance of the gasification stove with the data collecting method using the Standar Nasional Indonesia (SNI) procedure for Biomass Furnace 7926:2013. From the test that conducted, it was found that the best thermal efficiency and fuel consumption rates were found at the 20-holes type at 14,21% and 0,74 kg/hour.

Keywords: biomass, gasification stove, *downdraft*, Standar Nasional Indonesia (SNI), coconut shells

1. Pendahuluan

Energi adalah salah satu permasalahan utama dunia saat ini dikarenakan konsumsi energi dunia saat ini sebagian masih bersumber dari energi fosil. Di Indonesia saat ini pemakaian energi sangat besar baik dari sektor rumah tangga, transportasi, dan industri-industri besar. Penggunaan energi di Indonesia sebagian besar masih menggunakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Presentase penggunaan bahan bakar minyak (BBM) masih mendominasi di Indonesia, yaitu sebesar 356,33 juta *barrels oil equivalent* (BOE) atau sekitar 28,88% [1].

Hampir sepertiga penggunaan energi berada pada sektor rumah tangga, oleh karena itu pengembangan sumber-sumber energi alternatif banyak dikembangkan pada sektor ini, karena dapat mengurangi dan menekan konsumsi terhadap

minyak, LPG atau energi yang bersumber dari energi fosil lainnya [tambahkan daftar Pustaka]. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pemanfaatan biomassa yang digunakan untuk kebutuhan rumah tangga.

Biomassa adalah bahan dari tanaman mati atau bagian hewan yang digunakan sebagai bahan bakar. Penggunaan energi biomassa dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin lama semakin berkurang karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Biomassa yang digunakan di masyarakat biasanya sebagai bahan bakar primer menggunakan tungku-tungku tradisional. Penggunaan tungku ini kurang efisien karena menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan menghasilkan asap yang berbahaya bagi kesehatan masyarakat [2]. Gasifikasi adalah salah satu teknik konversi biomassa sehingga menghasilkan bahan bakar dengan udara yang terbatas.

Dalam gasifikasi, energi yang didapat akan lebih

efisien karena proses gasifikasi ini adalah suatu proses pemanasan bahan bakar cair ataupun padat yang mengandung karbon di suatu tempat dan menggunakan udara yang terbatas sehingga menghasilkan gas yang mudah terbakar. Gasifikasi banyak diteliti di Indonesia, salah satunya oleh Sholehul dan Sudjud (2013) telah menguji kompor gasifikasi tipe *downdraft* dengan bahan bakar serabut kelapa. Penelitian ini melihat pengaruh variasi perbandingan udara-bahan bakar (AFR) dan juga ukuran serabut kelapa terhadap efisiensi dari kompor dan menyimpulkan bahwa efisiensi terbesar dicapai pada saat *Air Fuel Ratio* (AFR) 1,31 untuk ukuran luasan serabut kelapa 10-50 mm² dengan efisiensi 66,17% [3]. Teknik Fisika Universitas Telkom juga mengembangkan kompor gasifikasi, salah satunya dilakukan oleh Rizky Anggara yang menganalisis pengaruh jumlah lubang udara pada tungku pembakaran serta variasi kecepatan aliran udara terhadap kinerja kompor gasifikasi dengan bahan bakar pelet kayu jati pada kinerja kompor gasifikasi tipe *up-draft*. Pada penelitiannya, nilai efisiensi terbaik terdapat pada jumlah lubang udara 40 dengan kecepatan 3,5 m/s sebesar 13,55% [4]. Salah satu tipe kompor gasifikasi yang dapat dikembangkan adalah tipe *downdraft* karena memiliki kelebihan utama yaitu menghasilkan gas dengan kandungan tar rendah.

Penelitian ini ditujukan untuk pembuatan *gasifier* dengan variasi jumlah lubang 20, 25, 30, 35, dan 40 lubang dan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan bakar yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang udara pada *gasifier* terhadap kinerja kompor gasifikasi, warna dan pola api.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Pengertian Biomassa

Biomassa adalah keseluruhan makhluk hidup, misalnya tumbuhan, hewan, mikroorganisme, dan bahan organik yang dimanfaatkan sebagai sumber energi. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan pada proses gasifikasi adalah tempurung kelapa, karena memiliki nilai kalor yang besar dan ketersediaannya yang sangat melimpah di Indonesia. Pada tempurung kelapa mengandung selulosa sebanyak 26,6%, lignin 29,4%, pentosan 27,7%, solvent ekstraktif 4,2%, uronat anhidrid 3,5%, abu 0,62%, nitrogen 0,11%, dan air 8,01% [5].

Kandungan inilah yang dalam proses gasifikasi menghasilkan produk *syngas* (CO, H₂, CH₄) yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi panas dan menyalakan api.

2.2 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknik pembakaran atau konversi material cair maupun padat menjadi bahan bakar gas dengan udara terbatas. Proses gasifikasi pada umumnya akan menghasilkan

gas utama, yaitu H₂, CO, dan CH₄, CO₂ dan NO₃, bahan padat (arang *char* dan abu), dan bahan cair (*steam char*). Peningkatan suplai aliran udara akan mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas utama (H₂, CO, CH₄). Hal ini akan berakibat terhadap kualitas nyala api. Semakin sedikit kandungan gas utama yang dihasilkan, akan semakin sulit menghasilkan nyala api.

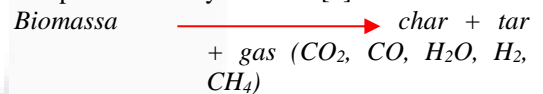
Proses gasifikasi akan terdiri dari 4 tahapan dan ada beberapa reaksi yang terjadi pada setiap tahapan. Tahapan yang terjadi pada proses gasifikasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Proses pengeringan

Pada proses ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada bahan bakar dengan proses oksidasi pada temperatur berkisar 100- 150°C. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin mempercepat proses difusi kandungan air yang terkandung dalam bahan bakar.

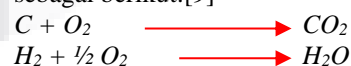
2) Proses pirolisis

Bahan bakar yang turun lebih ke bawah akan mengalami pemanasan pada suhu yang lebih tinggi lagi yang menyebabkan bahan bakar terpecah menjadi arang (C), tar, dan produk pirolisis lain seperti CO₂, CO, H₂O, H₂, CH₄. Pirolisis akan berlangsung pada rentang suhu 200^o - 500^oC. Reaksi yang terjadi pada proses ini dan produk hasilnya adalah: [9]



3) Proses oksidasi

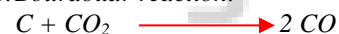
Memiliki temperatur tinggi ini memecahkan substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah dan membuat emisi yang dihasilkan lebih bersih. Reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi dapat ditunjukkan sebagai berikut:[9]



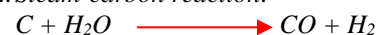
4) Proses Reduksi

Setelah mengalami proses oksidasi akan terjadi proses reduksi, ada empat reaksi kimia yang menghasilkan kalor terutama dihasilkan di tahap ini. Reaksi yang terjadi diantaranya adalah *Bourdour reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation*[9]. Proses ini bersifat mengambil panas yang terjadi pada suhu sekitar 400^o- 900^oC. Reaksi kimia yang terjadi pada proses ini sebagai berikut[9]:

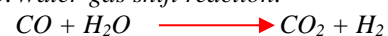
1. *Bourdour reaction*:



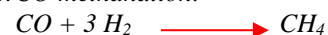
2. *Steam-carbon reaction*:



3. *Water-gas shift reaction*:



4. *CO methanation*:



Senyawa hasil proses reduksi seperti CO, H₂, dan CH₄ yang digunakan untuk menyalakan api.

2.3 Kompor Gasifikasi

Berdasarkan arah aliran udaranya, *fixed bed gasification* dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

1) Updraft gasifier

Tipe updraft gasifier adalah tipe paling sederhana, biomassa dimasukkan dari bagian atas reaktor dan bergerak ke bawah menghasilkan gas dan arang. Pemasukan atau suplai udara berlawanan dengan masuknya bahan bakar biomassa dan prosedur gas keluar dari atas dan sering disebut sebagai (*counter current flow*).

2) Downdraft gasifier

Biomassa dimasukkan dari atas begitu pula dengan udara yang disuplainya. Aliran biomassa dan udara searah (*co current flow*), gas yang dikeluarkan menghasilkan nyala api. Jenis *gasifier* ini menghasilkan gas yang lebih bersih dibandingkan dengan jenis *updraft*.

3) Crossdraft gasifier

Arah aliran udara yang disuplai berasal dari samping reaktor yang membuat gas yang dihasilkan keluar dari sisi lain dari reaktor. Tipe ini menghasilkan temperature yang tinggi pada volume yang sangat kecil sehingga menghasilkan tar yang rendah.

Pada kompor gasifikasi terdapat beberapa komponen pendukung kompor yaitu:

- a. Reaktor/ ruang pembakaran
Tempat terjadinya proses pembakaran dan gasifikasi.
- b. Lubang reaktor
Berfungsi sebagai suplai udara sekunder atau udara yang berasal dari lingkungan yang fungsinya untuk membantu proses pembakaran pada reaktor.
- c. Lubang kipas
Berfungsi sebagai suplai udara primer yang tujuannya untuk membantu proses pengeringan bahan bakar dan pembakaran.
- d. Hopper
Sebagai tempat memasukkan bahan bakar dan penampung bahan bakar.
- e. Lubang panci
Sebagai tempat panci diletakkan dan tempat keluarnya kalor yang dihasilkan.
- f. Ask box
Sebagai penampung abu sisa pembakaran.

2.4 Parameter dan Perhitungan Kompor

Dalam pengujian kompor gasifikasi biomassa terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi. Berikut parameter-parameter yang dapat digunakan sebagai tolak ukur performa kompor gasifikasi biomassa.

a) Waktu Mulai

Waktu mulai adalah ketika api sudah menyala hingga menghasilkan gas akibat dilakukan pembakaran bahan bakar biomassa.

b) Waktu Operasi

Waktu operasi adalah waktu saat pembakaran biomassa terjadi dan menghasilkan gas hingga pembakaran berhenti dan tidak ada gas yang didapati. Hal ini dapat diketahui dengan melihat bahan bakar biomassa ketika sudah menjadi arang dan tidak menghasilkan gas pirolisis lagi.

c) Laju Konsumsi Bahan Bakar (*FCR*)

Laju konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan selama berlangsungnya proses pengujian. Dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$FCR = \frac{\text{Massa Biomassa (kg)}}{\text{Waktu operasi(s)}}$$

Dimana:

FCR = Laju konsumsi bahan bakar (kg/s)

Massa Biomassa = Masa biomassa yang digunakan (kg)

Waktu operasi = Total waktu operasi kompor biomassa (s)

d) Kalor Sensibel

Kalor sensible adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu air selama pengujian, kalor sensible dapat dihitung sebelum dan sesudah mencapai suhu maksimum air saat pengujian, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_s = m_a \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana:

Q_s = Kalor sensible (kkal)

M_a = Massa air yang dididihkan (1 kg)

C_p = Kalor spesifik air (1 kkal/kg°C)

ΔT = Selisih suhu sebelum dan sesudah air mendidih (°C)

e) Kalor Laten

Kalor laten merupakan energi kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi wujud gas. Kalor laten dapat

dicari dengan persamaan berikut:
Gambar 1. Desain Kompor Gasifikasi Tipe Downdraft

$$Q_L = m_{uap} \cdot h_{fg}$$

Dimana:

Q_L = Kalor laten (kkal)

M_{uap} = Massa uap air (kg)

H_{fg} = Kalor laten air (540 kkal/kg)

f) Efisiensi Termal

Energi termal merupakan nilai perbandingan antara energi kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air selama pengujian terhadap nilai kalor yang ada di dalam bahan bakar. Hal ini dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$TE = \frac{Q_L + Q_S}{WF \cdot HF}$$

Dimana:

TE = Efisiensi termal (%)

Q_S = Kalor sensible (kkal)

Q_L = Kalor laten (kkal)

WF = Bahan bakar yang digunakan (kg)

HF = Nilai kalor bahan bakar (kkal)

g) Presentase char yang dihasilkan

Presentase *char* adalah perbandingan antara massa arang dibagi dengan massa bahan bakar yang digunakan. Persamaan dapat diketahui sebagai berikut:

$$\% Char = \frac{m_{arang}}{m_{biomassa}} \times 100$$

Dimana:

$\% Char$ = Presentase arang (%)

m_{arang} = Massa arang (kg)

$m_{biomassa}$ = Massa biomassa (kg)

h) Presentase warna api

Presentase warna api dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% Warna Api = \frac{n_{merah/biru}}{255} \times 100$$

Dimana:

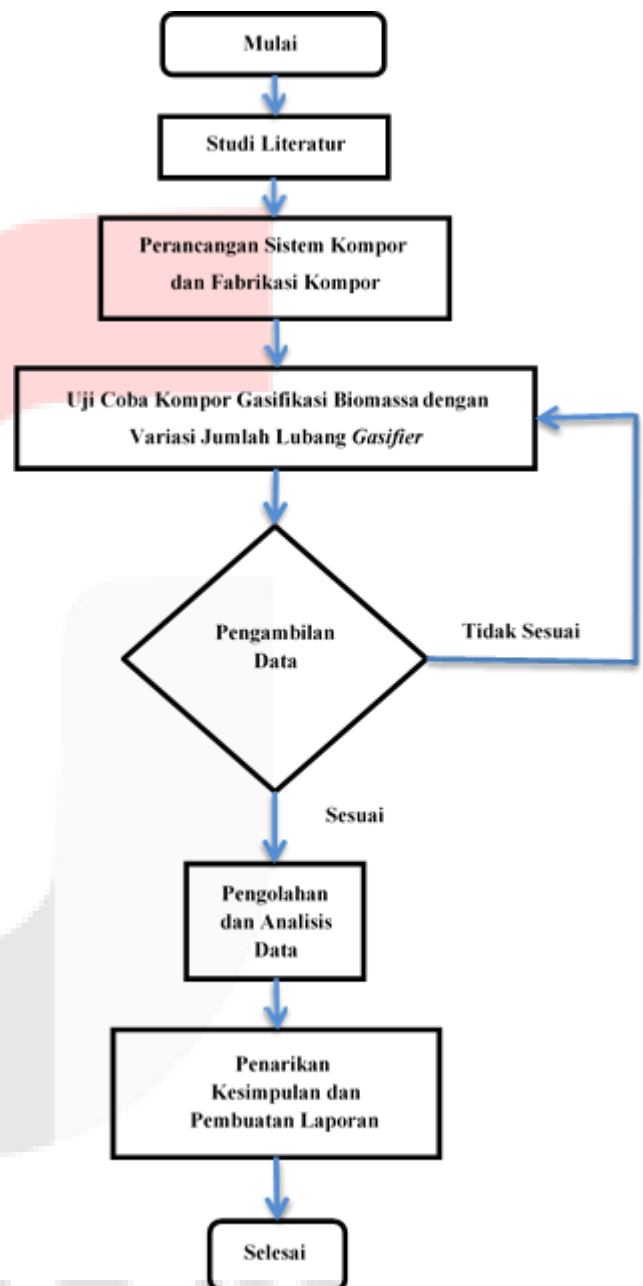
$n_{merah/biru}$ = Nilai jumlah pada satu jenis warna (maksimal 255)

2.5 Metodologi penelitian

Penelitian ini dilakukan di luar ruangan, tepatnya di luar bagian samping Gedung Fakultas Teknik Fisika Universitas Telkom dengan menggunakan kompor gasifikasi tipe *downdraft*. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tempurung kelapa dengan massa 0,6 kg dan kipas AC sebagai udara yang disuplai ke dalam reaktor dengan kecepatan 6 m/s. Pada penelitian ini memvariasikan jumlah lubang udara pada *gasifier* sebanyak lima variasi antara lain 20, 25, 30, 35, dan 40 jumlah lubang.

Metode yang digunakan untuk menguji kompor adalah SNI Tungku Biomassa 7926:2013 untuk melihat kinerja kompor gasifikasi yang dihasilkan.

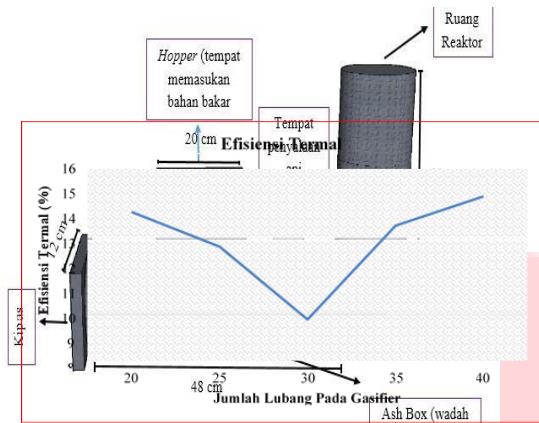
Adapun gambaran umum terkait sistematik penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Model kompor gasifikasi biomassa tipe *downdraft*

dapat dilihat pada gambar 2.

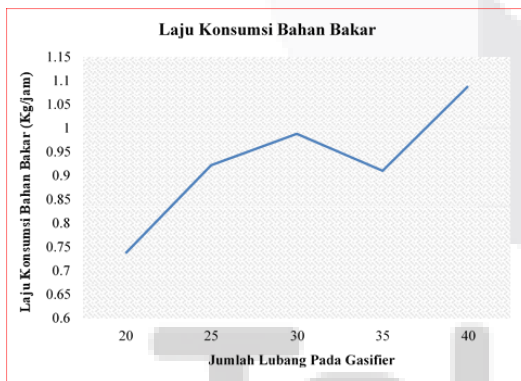


Gambar 4. Grafik Efisiensi Termal

3. Pembahasan

3.1 Laju Konsumsi Bahan Bakar (FCR)

Laju konsumsi bahan bakar adalah massa bahan bakar yang diperlukan selama waktu operasi. Setiap variasi jumlah lubang pada *gasifier* yang berbeda dengan massa bahan bakar yang sama akan menghasilkan laju konsumsi bahan bakar yang berbeda pula. Penggunaan bahan bakar tempurung kelapa sudah memenuhi standar SNI Tungku Biomassa yang memiliki nilai laju konsumsi bahan bakarnya sebesar 1 Kg/Jam. Namun saat keadaan tertentu dengan variasi yang digunakan dapat menghasilkan FCR yang tidak memenuhi standar SNI Tungku Biomassa.



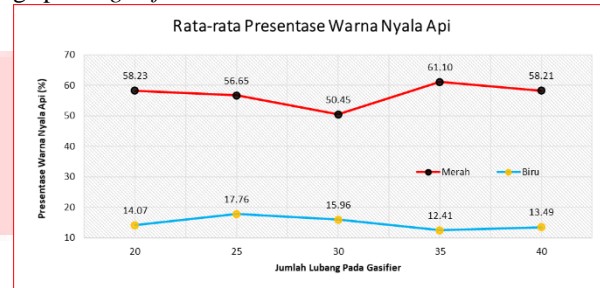
Gambar 3. Grafik Laju Konsumsi Bahan Bakar (FCR)

Pada gambar diatas terlihat bahwa nilai laju konsumsi bahan bakar pada variasi 20, 25, 30, 35, dan 40 lubang pada *gasifier* dilakukan sebanyak tiga kali percobaan. Rata-rata laju konsumsi bahan bakar tertinggi terletak di variasi jumlah lubang 40 pada *gasifier* yang mencapai 1,089 Kg/Jam dan rata-rata laju konsumsi bahan bakar terendah dapat dilihat dari grafik terletak di variasi jumlah lubang 20 pada *gasifier* sebesar 0,738 Kg/Jam. Pada jumlah lubang 35, laju konsumsi bahan bakar sempat turun dengan nilai sebesar 0,911 Kg/Jam. Ini disebabkan pada saat pengambilan data, dilakukan diluar ruangan sehingga udara dari lingkungan mempengaruhi nilai laju konsumsi bahan bakar menjadi bervariasi.

3.2 Efisiensi Termal

Semakin besar efisiensi termal maka kinerja kompor semakin baik karena dapat mendidihkan air dengan cepat dengan bahan bakar seminimal mungkin. Efisiensi termal yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada gambar dibawah ini.

Pada gambar diatas menunjukkan rata-rata efisiensi termal kompor gasifikasi terhadap variasi jumlah lubang pada *gasifier*. Nilai efisiensi termal

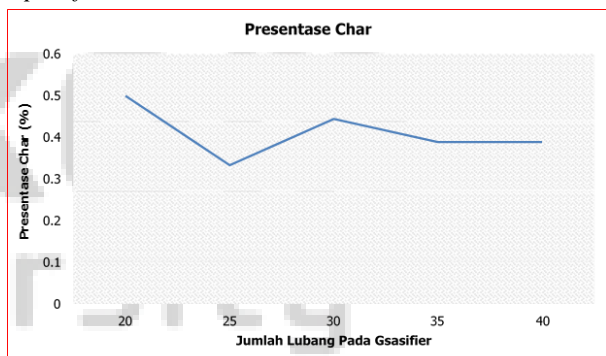


Gambar 5. Grafik Presentase Warna Nyala Api

tertinggi pada jumlah lubang 40 sebesar 14,85%. Sedangkan efisiensi terendah terletak pada jumlah lubang 30 sebesar 9,74%. Nilai efisiensi termal pada jumlah lubang 25 dan 30 cenderung turun dan kemudian naik pada jumlah lubang 35 dan yang tertinggi terletak pada jumlah lubang 40. Adanya penurunan efisiensi termal ini karena kalor yang terdapat dalam kompor tidak sepenuhnya berpindah ke panci sehingga kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air rendah. Nilai kalor yang hilang ini dapat disebabkan oleh faktor pengambilan data diluar ruangan, sehingga data yang dihasilkan tidak linier. Nilai efisiensi termal yang dihasilkan masih lebih besar bila dibandingkan dengan penelitian terdahulu dengan menggunakan kompor yang sama.

3.3 Presentase Char

Pada saat pengujian kompor gasifikasi tipe *downdraft* menggunakan bahan bakar biomassa tempurung kelapa sebanyak 0,6 kg. Presentase *char* yang dihasilkan tergolong sangat kecil jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan tipe kompor yang sama maupun tipe *updraft*.



Gambar 6. Grafik Presentase Char

Dari gambar presentase char tertinggi terdapat pada variasi jumlah lubang 20 yaitu mencapai 0,5%. Sedangkan rata-rata presentase char terendah terdapat pada jumlah lubang 25 sebesar 0,33%. Nilai presentase *char* yang kecil menunjukkan bahwa kinerja kompor semakin baik.

3.4 Presentase Warna Nyala Api

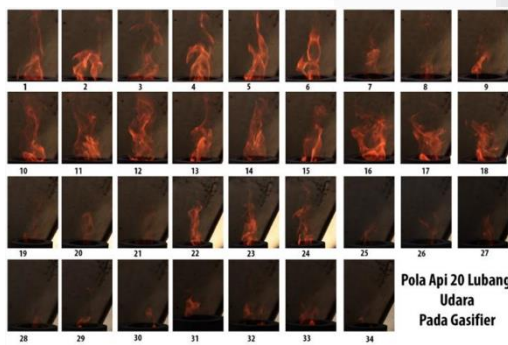
Pada penelitian ini menggunakan kompor gasifikasi tipe *downdraft* dengan variasi jumlah lubang udara pada *gasifier*. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu tempurung kelapa menghasilkan presentase warna nyala api merah yang berkisar antara 50-61% sedangkan presentase warna api biru berkisar antara 13-18%. Adapun hasil dari pengujian warna nyala api dari kompor gasifikasi tipe *downdraft* disajikan pada gambar dibawah ini.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa presentase rata-rata warna nyala api dari setiap variasi yang dilakukan pada penelitian ini memiliki presentase warna nyala api merah yang besar dibandingkan dengan presentase warna nyala api biru.

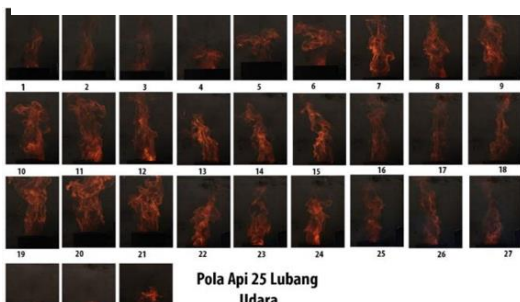
Berdasarkan tinjauan pustaka mengenai warna api dijelaskan jika warna nyala api berwarna merah, maka suhu reaktor yang mampu dicapai berada dibawah 1000°C dan suhu maksimal sebesar $798,67^{\circ}\text{C}$ memiliki presentase warna api biru tertinggi sebesar 17,76%. Ini menandakan semakin tinggi suhu yang terjadi pada proses gasifikasi maka presentase warna api biru relatif semakin besar.

3.5 Pola Api

Kinerja kompor gasifikasi dapat diuji pola api yang terjadi pada saat proses pembakaran berlangsung. Hal ini dapat mencirikan pola api mekar atau pola api kuncup. Pola api dilihat pada saat nyala api sudah mulai stabil. Adapun pola api yang terbentuk pada setiap variasi jumlah lubang *gasifier* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

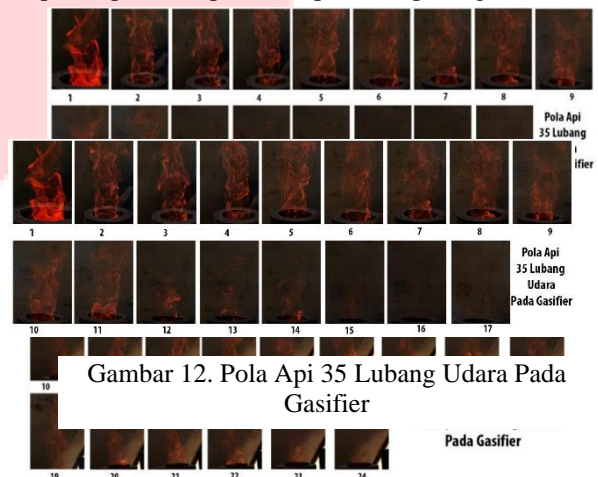


Gambar 9. Pola Api 20 Jumlah Lubang Udara Pada Gasifier

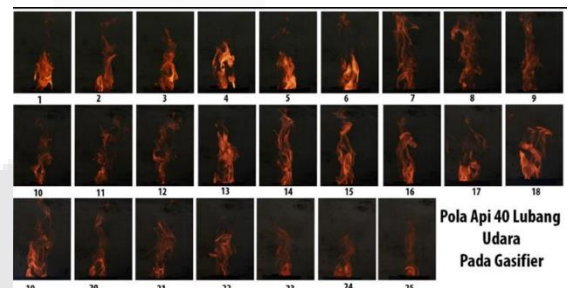


Gambar 11. Pola Api 30 Lubang Udara Pada Gasifier

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa variasi jumlah lubang pada *gasifier* berpengaruh terhadap pola api. Semakin banyak jumlah lubang udara pada *gasifier* maka semakin terlihat bentuk pola api kuncup. Pola api kuncup sangat terlihat



Gambar 12. Pola Api 35 Lubang Udara Pada Gasifier



Gambar 13. Pola Api 40 Lubang Udara Pada Gasifier

pada jumlah lubang 35 dan 40.

3.6 Kesetimbangan Massa

Perhitungan kesetimbangan massa digunakan untuk mengetahui aliran massa yang masuk dan keluar dalam proses pengujian kompor gasifikasi. Apakah massa yang digunakan dalam proses pengujian termasuk kedalam *steady state process* atau *unsteady state process*. Berikut adalah tabel kesetimbangan massa dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan bakar.

Tabel 1 Kesetimbangan Massa

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)		
Biomassa	Udara	Syn-gas	Arang-karbon	Ash
0,6	$2,54 \times 10^{-5}$	0,413	0,07	$5,34 \times 10^{-3}$
Total: 0,600		Total: 0,488		

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa besarnya massa keluar sudah mendekati massa yang masuk, ini menandakan proses pengujian termasuk kedalam keadaan *steady state process*. Massa keluar

lebih kecil dari massa masuk, hal ini dikarenakan saat pembakaran terjadi ada material-material keluaran yang tidak dapat diukur.

4. Kesimpulan

1. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa dalam hal nilai efisiensi termal minimal 20%. Performa kompor gasifikasi yang diuji menghasilkan efisiensi termal tertinggi berada pada jumlah lubang 40 yaitu sebesar 14,85%. Efisiensi termal yang dihasilkan pada penelitian ini belum memenuhi Standar Nasional (SNI) Tungku Biomassa.
2. Pada lima variasi jumlah lubang pada *gasifier* yang digunakan memiliki laju konsumsi bahan bakar yang berbeda-beda. Adapun pengaruh variasi jumlah lubang pada *gasifier* terhadap kinerja kompor gasifikasi tipe *downdraft* adalah semakin banyak jumlah lubang maka laju konsumsi bahan bakar relatif lebih besar. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa kompor dapat dinyatakan lulus uji saat laju konsumsi bahan bakar sebesar maksimum 1 kg/jam. Laju konsumsi bahan bakar memenuhi standar SNI dengan nilai terbaik pada jumlah lubang 20 sebesar 0,74 kg/jam.
3. Jumlah lubang udara pada *gasifier* tidak mempengaruhi warna api dan pola api disetiap variasi yang dilakukan pada kompor gasifikasi. Warna api yang dihasilkan disetiap variasi mencapai 52-61% warna merah dan presentase warna api biru tertinggi terletak pada suhu 798,67°C sebesar 17,76%. Pola api yang terjadi pada percobaan menunjukkan pola api kuncup.
4. Berdasarkan perancangan kompor gasifikasi, kondisi terbaik dengan mempertimbangkan nilai efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar terbaik yang dihasilkan yaitu pada variasi jumlah lubang 20 sebesar 14,21% efisiensi termalnya dan laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,74 kg/jam.

Referensi

- [1] “Hampir Sepertiga Energi Nasional Untuk Rumah Tangga”, 12 Oktober 2018, databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/10/12/hampir-sepertiga-energi-nasional-untuk-rumah-tangga.
- [2] Djafar, Romi dkk. 2018. “Analisis Performa Kompor Gasifikasi Biomassa Tipe Forced Draft Menggunakan Variasi Jumlah Bahan Bakar Tongkol Jagung”. Gorontalo: Tim Pengajar Pada Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo.
- [3] D. Sudjud, Sholehul Hadi. 2013. “Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu”. Surabaya.

- [4] Anggara, Rizky. 2019. “Pengaruh Jumlah Lubang Pada Tungku Pembakaran Serta Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi dengan Bahan Bakar Pelet Kayu Jati”. Bandung.
- [5] Tajalli, Arief. 2015. “Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia”. Penabalu Alliance 2015.