

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN KOMPOR *BIOMASS* DENGAN GENERATOR DOWNDRAFT BERBAHAN BAKAR TEMPURUNG KELAPA

Vincentius Timothy Hutton Victorio

Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : vincentiusvictorio@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Energi menjadi kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan hampir disegala aspek kehidupan manusia. Oleh karena itu penggunaan energi akan terus meningkat. Sayangnya energi yang banyak tersedia sekarang merupakan energi fosil yang tidak dapat diperbarui yang dapat menyebabkan kelangkaan energi. Perlu adanya pemanfaatan energi alternatif lain yang bersifat dapat diperbarui, salah satunya adalah biomassa yang memiliki potensi untuk menjadi salah satu sumber energi utama di masa mendatang. Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi penghasil biomassa terbesar terutama dari bidang limbah pertanian, seperti tempurung kelapa. Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan tempurung kelapa menjadi bahan bakar alternatif untuk kompor biomassa. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh variabel diameter lubang burner pada kompor biomassa. Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui lama nyala api efektif, efisiensi thermal, dan daya kompor yang dihasilkan. Data yang diambil dari eksperimen menggunakan metode water boiling test adalah kadar air, lama nyala api efektif, suhu air, berat air, berat bahan bakar. Dari hasil penelitian yang dilakukan telah dihasilkan syn-gas dari gasifikasi 60% arang kayu sono dan 40% tempurung kelapa. Untuk hasilnya, didapatkan bahwa kompor dengan diameter burner 12 mm lebih baik secara lama nyala api efektif, efisiensi thermal, dan daya kompor dibandingkan dengan kompor diameter burner 6 mm, 8 mm, 10 mm. Dengan lama nyala api efektif yakni 18 menit, efisiensi *thermal* 2,74% dan daya kompor 464,4 Watt. Maka didapatkan bahwa semakin besar diameter burner kompor akan semakin baik. Namun, disini lain perlu adanya pengujian lebih lanjut seperti pengaruh jumlah lubang diameter pada burner, bentuk burner, dan diameter lubang udara pada burner..

Kata Kunci : Energi terbarukan, Biomassa, Gasifikasi *downdraft*, Tempurung kelapa.

Abstract

Energy is a necessity that cannot be separated in almost all aspects of human life. Therefore, energy use will continue to increase. Unfortunately, the energy that is widely available today is non-renewable fossil energy which can lead to energy scarcity. It is necessary to use other renewable alternative energy, one of which is biomass which has the potential to become one of the main energy sources in the future. Indonesia is one of the countries with the largest potential for producing biomass, especially from the field of agricultural waste, such as coconut shells. This research was conducted to utilize coconut shell as an alternative fuel for biomass stoves. This study uses an experimental method to determine the effect of the burner hole diameter variable on the biomass stove. Data retrieval is carried out to determine the effective flame duration, thermal efficiency, and the resulting stove power. Data taken from experiments using the water boiling test method are moisture content, effective flame duration, water temperature, water weight, fuel weight. From the results of the research conducted, syn-gas has been produced from the gasification of 60% sono wood charcoal and 40% coconut shell. For the results, it was found that stoves with a burner diameter of 12 mm were better in terms of effective flame duration, thermal efficiency, and stove power compared to stoves with burner diameters of 6 mm, 8 mm, 10 mm. With an effective flame length of 18 minutes, a thermal efficiency of 2,74% and a stove power of 464,4 Watt. Then it is found that the larger the diameter of the burner, the better. However, on the other hand, further testing is needed such as the effect of the number of diameter holes on the burner, the shape of the burner, and the diameter of the air holes on the burner.

Keywords: Renewable energy, Biomass, *Downdraft* gasifier, Coconut shell

PENDAHULUAN

Dewasa ini energi menjadi kebutuhan pokok bagi kegiatan sehari-hari mulai dari kebutuhan di bidang industri sampai dengan kebutuhan rumah tangga. Energi menjadi kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia sekarang. Penggunaan energi akan terus meningkat seiring semakin banyaknya populasi penduduk dunia, meningkatnya teknologi transportasi, dan munculnya industri baru (Yunizurwan, 2007). Sebagai sumber daya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan. Dari aspek penyediaan, Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumberdaya energi baik energi yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources*. Namun demikian, eksplorasi sumber daya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat *unrenewable resources* sedangkan energi yang bersifat *renewable* relatif belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil, khususnya minyak mentah, semakin langka yang menyebabkan Indonesia saat ini menjadi net importir minyak mentah dan produk-produk turunannya.

Saat ini, biomassa telah menjadi sumber energi paling penting di setiap wilayah dunia (Thran et al, 2010). Biomassa memiliki potensi untuk menjadi salah satu sumber energi utama di masa mendatang, dan modernisasi sistem bioenergi disarankan sebagai kontributor penting bagi pengembangan energi berkelanjutan di masa depan, khususnya bagi pembangunan berkelanjutan di negara-negara industri maupun di negara-negara berkembang (Berndes et al, 2003). Gasifikasi biomassa adalah salah satu cara yang dapat dilakukan sebagai alternatif kebutuhan energi fosil, terutama dalam sektor rumah tangga. Selain karena bahan biomassa adalah bahan yang dapat diperbarui dalam kurun waktu yang relatif singkat, ketersediaannya di Indonesia juga cukup melimpah. Salah satu bentuk sumber energi alternatif yang jumlahnya melimpah dengan kandungan energi yang lebih besar adalah biomassa hewan maupun tumbuhan. Sumber energi biomassa mempunyai keuntungan antara lain dapat dimanfaatkan karena sifatnya yang dapat diperbaharui.

Limbah biomassa pertanian belum dimanfaatkan atau bahkan hanya dibuang dan dibakar sehingga dapat menyebabkan masalah pencemaran lingkungan (Hambali dkk, 2007). Pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber bahan bakar disebabkan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah tersebut cukup signifikan. Salah satu contohnya adalah tempurung kelapa yang tidak mempunyai nilai ekonomis tinggi tetapi mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi. Gasifikasi bertujuan untuk mengkonversi bahan bakar cair maupun padat menjadi *flammable* gas atau gas

mampu bakar menggunakan suatu reaktor yang disebut *gasifier*.

Kinerja dari sebuah kompor dengan bahan bakar gas dapat dinilai baik apabila memiliki efisiensi termal yang tinggi. Maka tugas burner untuk mengarahkan orientasi nyala. Orientasi nyala dapat dideskripsikan sebagai bentuk nyala yang dihasilkan oleh pembakaran dan arah nyala tersebut. Oleh karena itu peneliti ingin menguji pengaruh burner pada kompor terutama kompor biomassa dengan variabel diameter lubang burner terhadap pengaruhnya pada efisiensi kompor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, yaitu penelitian dengan cara mencari suatu hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang saling berpengaruh. Eksperimen dalam penelitian ini dilaksanakan di laboratorium dengan kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang hasil dari proses gasifikasi pada tempurung kelapa sebagai bahan bakar untuk kompor.

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu

Penelitian ini dilakukan sejak judul penelitian disetujui oleh dosen pembimbing, kemudian menganalisis dan menghasilkan data.

Tempat

Tempat penelitian ini dilaksanakan di lantai 1 Gedung A8, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2010). Variabel- variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Variabel Bebas

Variabel bebas adalah sebuah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau variabel terikat (Sugiyono, 2011).

- Diameter lubang *burner* 6 mm.
- Diameter lubang *burner* 8 mm.
- Diameter lubang *burner* 10 mm.
- Diameter lubang *burner* 12 mm.

Variabel Terikat

Variabel terikat adalah sebuah variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2011).

- Lama nyala api efektif
- Efisiensi *thermal* kompor
- Daya yang dihasilkan kompor berbeban

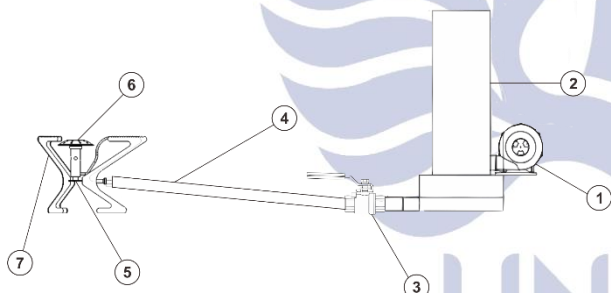
Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti.

- Bahan baku yang digunakan berasal dari tempurung kelapa dengan bantuan arang kayu sebagai pemantik.
- Jenis bahan bakar yang digunakan adalah syngas dari hasil gasifikasi dengan sistem *downdraft*.
- Jumlah lubang burner kompor yang digunakan adalah 20 lubang berdasarkan penelitian sebelumnya dimana 20 lubang memiliki kelebihan mampu mendidihkan air lebih cepat.
- AFR yang digunakan adalah 0,72 dimana pada penelitian sebelumnya terbukti menghasilkan durasi nyala api yang paling lama (Satriono, 2021)
- Beban yang digunakan untuk setiap fase pengujian adalah 1 kg air.
- Bahan bakar yang digunakan untuk pengujian adalah 4 kg yang terdiri dari 60% arang kayu (2,5 kg) dan 40% tempurung kelapa (1,5 kg).
- Selama proses pengujian katup terbuka penuh untuk mempercepat proses mendidihkan air.
- Desain, ukuran, dan bentuk burner telah disesuaikan sesuai dengan desain yang ada.

Skema Alat Penelitian

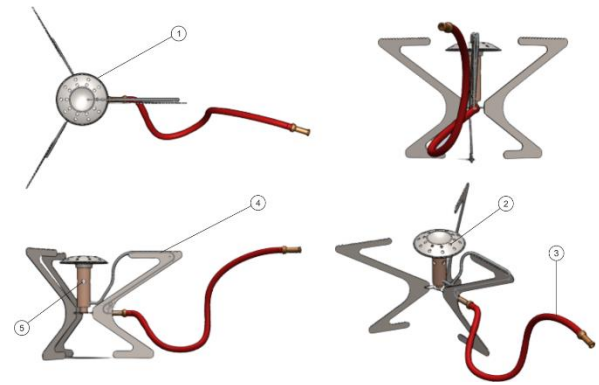
Untuk gambar skema penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 di bawah ini:



Gambar 1 Skema Alat Kompor Gasifikasi Biomassa

Keterangan:

1. *Blower*
2. *Gasifier*
3. Katup
4. Selang gas
5. Kompor biomassa
6. *Burner* kompor
7. Penyangga kompor



Gambar 2 Desain Kompor Biomassa

Keterangan:

1. Kepala burner
2. Lubang burner
3. Selang gas
4. Penyangga kompor
5. Lubang udara

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah suatu cara yang digunakan untuk mengumpulkan data-data penelitian yang diperoleh untuk mencapai tujuan penelitian Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini berupa dokumentasi dan eksperimen.

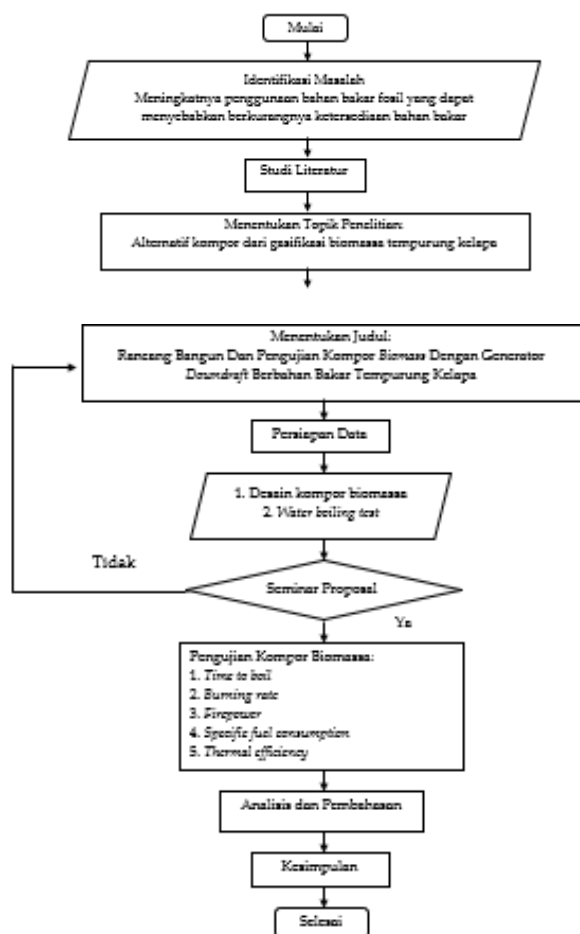
Dokumentasi

Dokumentasi merupakan sebuah cara penyajian dokumen-dokumen, foto, video sebagai bukti yang akurat.

Eksperimen

Metode eksperimen dimana peneliti melakukan penelitian secara sengaja dan melakukan manipulasi terhadap variabel-variabel yang sudah ditentukan yang kemudian akan saling berpengaruh untuk mendapatkan sebab akibat dengan menggunakan satu atau lebih kondisi perlakuan pada satu atau lebih kelompok eksperimen dan kemudian membandingkan hasilnya sebagai kontrol.

Rancangan Penelitian



Gambar 3 Flowchart Rancangan Penelitian

Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini adalah teknik eksperimen, yaitu mengumpulkan data dengan cara mengukur atau menguji objek yang diteliti selanjutnya mencatat data-data yang diperlukan.

Data-data yang diperlukan adalah hasil dari gasifikasi *downdraft* biomassa, lama pengujian, berat bahan bakar awal dan akhir, berat abu sisa pembakaran, suhu awal dan akhir air, berat awal dan akhir air.

Tabel 1 Format Pengumpulan Data

Diameter Kompor			
Variabel	Unit	Start	End
Time	min		
Weight of fuel	kg		
Water temperature	°C		
Weight of water	kg		
Weight of char	kg		

Teknik Analisis Data

Menurut Sugiyono (2009) analisis data merupakan kegiatan setelah data dari seluruh responden atau sumber data lain terkumpul. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data kualitatif

deskriptif. Data yang dianalisis adalah hasil pengujian lama nyala api efektif, efisiensi *thermal*, dan daya kompor berbeban. Kemudian mendiskripsikan data yang diperoleh dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami, dan dipresentasikan untuk menjawab rumusan masalah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengujian kompor biomassa dilakukan dengan pengujian *water boiling test*, dimana kompor diuji untuk mendidihkan air sebanyak 1 kg hingga mencapai titik didih lokal. Pengujian dimulai dengan menyalakan arang kayu di luar *gasifier* yang kemudian di masukkan ke dalam *gasifier* ketika telah menjadi bara. Tempurung kelapa dimasukkan setelahnya, kemudian *gasifier* ditutup dan *blower* mulai dinyalakan pada putaran rendah, dalam penelitian ini menggunakan AFR 0,72 (Satriono, 2021) pada *gasifier*. Ketika *syn-gas* sudah mulai tercipta maka api bisa dinyalakan pada kompor dan pengujian *water boiling test* dapat dimulai.



Gambar 4 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil dari penelitian variabel diameter lubang *burner* kompor biomassa gasifikasi *downdraft* dengan bahan bakar tempurung kelapa dibuat dalam bentuk tabel dan grafik yang nantinya dapat dibandingkan dan ditarik kesimpulan tentang variabel yang diteliti. Dengan cara ini akan diketahui bagaimana pengaruh dari perbedaan variabel diameter lubang *burner* dari kompor. Data hasil pengujian disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2 Hasil Pengujian WBT Burner Diameter 6 mm

Diameter Kompor 6 mm			
Variabel	Unit	Start	End
Time	min	0	28
Weight of fuel	kg	4	0,94
Water temperature	°C	29	100
Weight of water	kg	1	0,87
Weight of char	kg	-	0,94

Tabel 3 Hasil Pengujian WBT *Burner* Diameter 8 mm

Diameter Kompor 8 mm			
Variabel	Unit	Start	End
Time	min	0	26
Weight of fuel	kg	4	1,06
Water temperature	°C	29	100
Weight of water	kg	1	0,88
Weight of char	kg	-	1,06

Tabel 4 Hasil Pengujian WBT *Burner* Diameter 10 mm

Diameter Kompor 10 mm			
Variabel	Unit	Start	End
Time	min	0	20
Weight of fuel	kg	4	1,72
Water temperature	°C	29	100
Weight water	kg	1	0,89
Weight of char	kg	-	1,72

Tabel 5 Hasil Pengujian WBT *Burner* Diameter 12 mm

Diameter Kompor 12 mm			
Variabel	Unit	Start	End
Time	min	0	18
Weight of fuel	kg	4	1,92
Water temperature	°C	29	100
Weight water	kg	1	0,91
Weight of char	kg	-	1,79

Hasil pengujian berupa waktu pengujian, berat awal dan akhir dari bahan bakar, suhu air, berat awal dan akhir air, berat abu pembakaran kemudian dimasukkan ke dalam variabel perhitungan untuk didapatkan data berupa lama lama nyala api efektif untuk mendidihkan air, efisiensi *thermal*, dan daya kompor berbeban.

Variabel Perhitungan Water Boiling Test

LHV : *Lower heating value* (kJ/kg). *Heating value* adalah jumlah energi panas yang terlepas untuk tiap satu satuan massa bahan bakar. LHV tidak memasukkan energi panas laten yang dilepaskan oleh terkondensasinya uap air tersebut ke dalam nilai *heating value*. Dengan kata lain LHV mengasumsikan bahwa uap air akan tetap sebagai uap air hingga proses akhir pembakaran. Menurut penelitian oleh Najib (2012) tempurung kelapa memiliki *heating value* 20890 kJ/kg dan menurut Nabawiyah (2010) arang kayu sono memiliki *heating value* 229,01 kal/g atau 961,842 kJ/kg

m : *moisture content* (%-wet basis). Ini merupakan kadar air pada bahan bakar yang digunakan pada kondisi basah.

$$m = \frac{m_{fuel\ wet} - m_{fuel\ dry}}{m_{fuel\ wet}} \times 100\%$$

Bailis et al (2007)

P : *dry weight of empty pot* (gr). Merupakan berat kosong dari panci masak.

T_b : *local boiling point of water* (°C).

Variabel yang diukur secara langsung:

f_i : berat bahan baku sebelum tes (gr)

f_f : berat bahan baku setelah tes (gr)

W_i : berat air sebelum tes (gr)

W_f : berat air setelah tes (gr)

T_i : suhu air sebelum tes (°C)

T_f : suhu air setelah tes (°C)

t_i : waktu awal tes (min)

t_f : waktu akhir tes (min)

c_c : berat abu sisa pembakaran

Variabel yang dihitung:

Δt : *duration of phase* (min). Menyatakan lama nyala api efektif untuk kompor biomassa mendidihkan air

$$\Delta t = t_f - t_i$$

Bailis et al (2007)

f_c : *fuel consumed* (kg). Menyatakan konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk mendidihkan air

$$f_c = f_i - f_f - c_c$$

Bailis et al (2007)

η_T : *thermal efficiency*. Ini adalah rasio kerja yang dilakukan dari memanaskan dan menguapkan air dengan energi yang dikonsumsi dengan membakar bahan bakar. Dihitung dengan cara berikut:

$$\eta_T = \frac{4,2 \times W_i(T_f - T_i) + 2260 (W_i - W_f)}{f_c \times LHV} \times 100$$

BSNI (2013)

Dalam perhitungan ini, kerja yang dilakukan dengan memanaskan air ditentukan dengan menambahkan dua besaran: (1) hasil kali massa air yang dididihkan, kalor jenis air (4,2 kJ/kg°C), perubahan suhu air ($T_{cf} - T_{ci}$) dan (2) hasil kali jumlah air yang diuapkan dari panci dan panas laten penguapan air (2260 kJ/kg). Penyebut (bagian bawah rasio) ditentukan dengan mengambil produk bahan bakar yang dikonsumsi selama fase pengujian ini dan LHV.

P : *Firepower* (W). Ini adalah rasio energi bahan bakar yang dikonsumsi oleh kompor per unit waktu. Dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$P = \frac{E}{t}$$

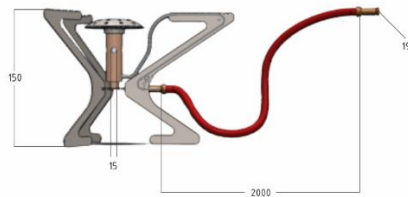
Baldwin (1987)

Tabel 6 Data Hasil Pengujian Kompor Biomassa

Diameter Kompor	Lama Nyala Api (min)	Efisiensi Thermal (%)	Daya Kompor (W)
6 mm	28	2,16	352,4
8 mm	26	2,17	365
10 mm	20	2,73	455,7
12 mm	18	2,74	464,4

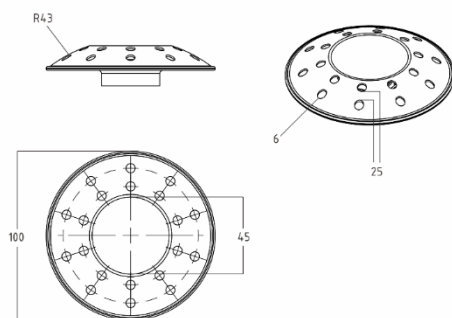
Pembahasan

• Desain Kompor Biomassa

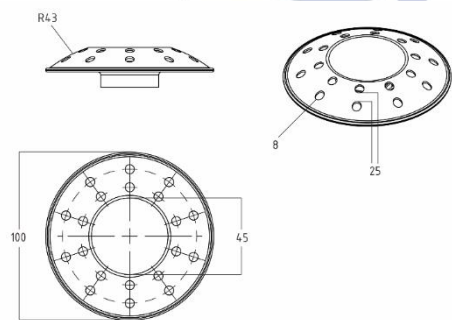


Gambar 5 Desain dan Ukuran Kompor Biomassa

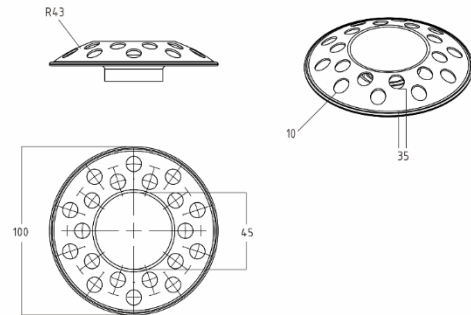
Pada gambar 5 didapatkan desain kompor biomassa untuk pengujian ini, dimana ketinggian kompor adalah 150 mm, diameter lubang udara pada kompor 15 mm, panjang selang 2000 mm, diameter lubang selang adalah 19 mm



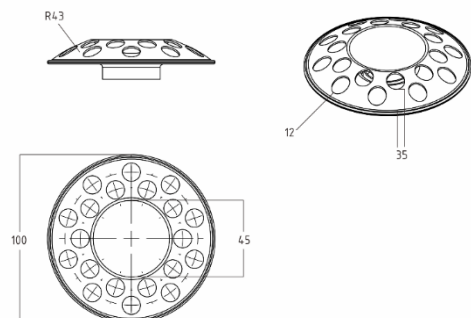
Gambar 6 Desain dan Ukuran Burner 6 mm



Gambar 7 Desain dan Ukuran Burner 8 mm



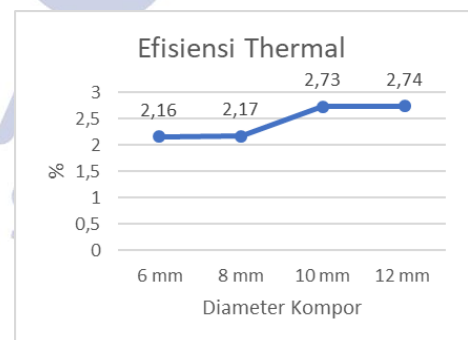
Gambar 8 Desain dan Ukuran Burner 10 mm



Gambar 9 Desain dan Ukuran Burner 12 mm

• Efisiensi Thermal Kompor Biomassa

Metode dari pengujian efisiensi thermal yang dihasilkan dari kompor gasifikasi biomassa ini, yaitu dengan mengukur rasio energi yang digunakan dalam mendidihkan dan menguapkan air terhadap energi panas atau kalor yang tersedia dalam bahan bakar.



Gambar 9 Grafik Data Efisiensi Thermal

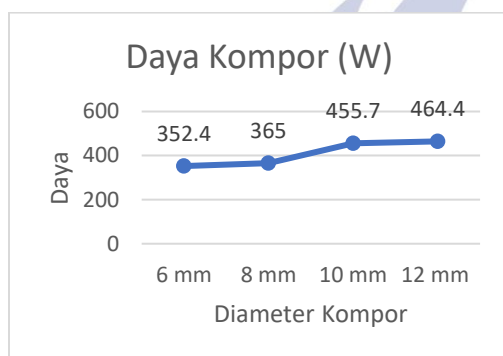
Berdasarkan gambar 9 didapatkan efisiensi thermal pada pengujian kompor dengan diameter 6 mm adalah 2,16% ; diameter 8 mm adalah 2,20% ; diameter 10 mm adalah 2,73% ; dan diameter 12 mm adalah 2,74%.

Efisiensi thermal yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan yang lebih baik untuk mentransfer panas yang dihasilkan ke dalam panci. Pada data tabel 6 ada peningkatan efisiensi thermal

pada setiap diameter kompor, akan tetapi pada diameter 6 mm dan 8 mm maupun diameter 10 dan 12 mm tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Akan tetapi dapat disimpulkan bahwa diameter kompor yang makin besar akan meningkatkan efisiensi *thermal* dari kompor biomassa

• Daya Kompor Biomassa Berbeban

Metode dari pengujian daya kompor yang dihasilkan dari kompor gasifikasi biomassa ini, yaitu dengan mengukur total energi yang dihasilkan kompor dibagi dengan waktu lama nyala api efektif. Berdasarkan tabel 6, didapatkan nilai daya pada pengujian kompor dengan diameter 6 mm adalah 352,4 Watt, diameter 8 mm adalah 365 Watt, diameter 10 mm adalah 455,7 Watt, dan diameter 12 mm adalah 464,4 Watt.



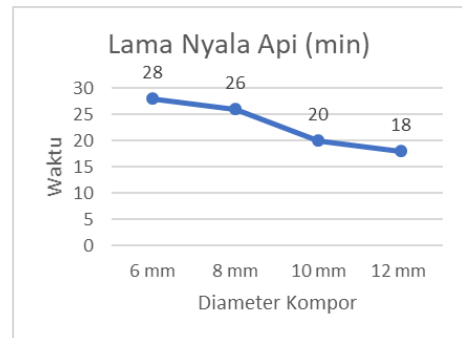
Gambar 10 Grafik Data Daya Kompor

Pada gambar 10 ada peningkatan nilai daya yang dihasilkan pada setiap diameter kompor. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter kompor biomassa, akan semakin tinggi pula daya yang dikeluarkan oleh kompor. Maka diameter kompor mempengaruhi nilai daya kompor.

• Lama Nyala Api Efektif

Metode dari pengujian lama nyala api efektif yang dihasilkan dari kompor gasifikasi biomassa ini, yaitu dengan mengukur lama waktu yang diperlukan kompor untuk mendidihkan 1 kg air dengan menggunakan bahan bakar yakni tempurung kelapa dan arang kayu sebanyak 4 kilogram. Lama nyala api merupakan hal yang mempengaruhi nilai daya dan efisiensi *thermal* yang dihasilkan oleh kompor. Lama nyala api dapat dihitung dari pengurangan waktu dari mulai awal kompor dinyalakan untuk mendidihkan air hingga air mendidih atau hingga bahan bakar yang digunakan habis.

Berdasarkan tabel 6, didapatkan lama nyala api efektif pada pengujian kompor dengan diameter 6 mm adalah 28 menit, diameter 8 mm adalah 26 menit, diameter 10 mm adalah 20 menit, dan diameter 12 mm adalah 18 menit.



Gambar 11 Grafik Data Lama Nyala Api Efektif

Semakin cepat kompor mendidihkan air akan semakin baik dan efektif. Berdasarkan gambar 11 terdapat perbedaan lama waktu memasak yang signifikan diantara keempat variabel, ini membuktikan bahwa perbedaan lubang diameter burner pada kompor biomassa gasifikasi *downdraft* ini mempengaruhi terhadap lama nyala api efektif yang digunakan untuk mendidihkan 1 liter air.

PENUTUP

Simpulan

- Didapatkan desain kompor biomassa terbaik pada burner dengan diameter 12 mm
- Efisiensi *thermal* terbaik dihasilkan pada kompor dengan diameter 12 mm yakni 2,74%, akan tetapi perlu adanya perbedaan yang signifikan antara variabel diameter lubang burner untuk mendapatkan hasil efisiensi *thermal* terbaik.
- Nilai daya terbaik yang bisa dihasilkan pada kompor biomassa dengan beban 1 kg air adalah pada ukuran lubang burner 12 mm yakni 464,4 Watt.
- Lama nyala api efektif untuk mendidihkan 1 kg air dari kompor biomassa tempurung kelapa dengan lubang burner 12 mm adalah yang terbaik yakni 18 menit.

Saran

- Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada gasifier agar dapat bekerja sempurna dengan bahan bakar tempurung kelapa.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap ukuran diameter di atas 12 mm untuk mengetahui ukuran lubang burner terbaik untuk kompor biomassa tempurung kelapa.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jumlah lubang diameter pada burner.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bentuk burner.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh diameter lubang udara pada kompor

DAFTAR PUSTAKA

Bailis, Rob., Damon Ogle, Nordica MacCarty, dan Dean Still. 2007. *The Water Boiling Test (WBT): Version 3.0*. California: University of California.

Berndes, Göran., Monique Hoogwijk, and Richard van den Broek. 2003. "The Contribution Of Biomass In The Future Global Energy Supply: A Review Of 17 Studies". *Journal Biomass and Bioenergy*. Vol. 25 pp 1-28. Netherlands.

BSN. 2013. "*Kinerja Tungku Biomassa*". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Hambali, Erliza., Siti Mujdalifah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan Roy Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.

Satriono, Alfin. 2021. *Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Pada Gasifier Tipe Downdraft Terhadap Kadar Syngas Dan Nyala Api Pada Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa*. Skripsi diterbitkan 2021. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
Suhartana. 2007. *Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Air Limbah Industri Petis Di Tambak Lorok Semarang*. Vol. 3, No. 2, Hal 10-11. Semarang: Jurusan Ilmu Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro Semarang

Thran, Daniela., Thilo Seidenberger, Jorgen Zeddies, and Ruth Offerman. 2010. "Global Biomass Potentials — Resources, Drivers and Scenario Results". *Journal Energy for Suitable Development*. Vol 14: pp 200-205. Germany.

Yunizurwan. 2007. *Analisis Potensi dan Peluang Ekonomi Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Tesis diterbitkan 2008. Medan: Universitas Sumatera Utara.

