

PENGARUH TINGGI GASIFIER TERHADAP KINERJA YANG DIHASILKAN KOMPOR GASIFIKASI TIPE DOWNDRAFT

THE EFFECT OF THE HEIGHT OF THE GASIFIER

ON THE PERFORMANCE OF DOWNDRAFT TYPE GASIFICATION STOVES

Ilham Pratama, Drs. Suwandi, M.Si., Nurwulan F., M.Pfis.

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

ilhampratama@student.telkomuniversity.ac.id, drsuwandi@telkomuniversity.ac.id, nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

masyarakat menggunakan kompor dengan bahan bakar LPG (Liquified Petroleum Gas) n Pada umumnya banyak dijual di masyarakat. Namun bahan bakar LPG ini merupakan bahan bakar yan dikarenakan lebih efisien dan termasuk olahan turunan minyak bumi. Hal ini menyebabkan masyarakat g tidak dapat diperbarui dikanal pada LPG sebagai bahan bakar. Solusi alternatif yang dapat digunakan adalah tidak dapat selamanya bergasifikasi yang dapat diperbarui dan dikonversi menggunakan gasifikasi biomassa. Tek pemanfaatan bahan bakar bnggunaan bahan bakar biomassa adalah kompor gasifikasi yang dapat diterapkan pa nologi yang mendukung peaan. Kompor Gasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Downdraft Gasifier* den da pedesaan maupun perkottinggi reaktor 60 cm. Memiliki 5 buah *gasifier* dengan diberikan variasi ketinggian yaitu gan diameter kompor 40 cm,cm. Pengujian *Downdraft Gasifier* terdapat satu variabel yaitu variasi ketinggian yang di 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40 variabel tersebut, pengujian kompor *Downdraft Gasifier* dilakukan dengan metode Stan berikan pada *gasifier*. Selain . dar Nasional Indonesia (SNI)

kunci: biomassa; gasifikasi; *Downdraft Gasifier*, Standar Nasional Indonesia (SNI).

Kata

Abstract

le use stoves with LPG (Liquified Petroleum Gas) fuel because they are more efficient an In general, people community. However, this LPG fuel is a non-renewable fuel because it includes petroleum d are widely sold in the comple to not be able to depend on LPG as fuel forever. An alternative solution that can be us derivatives. This causes peod convertible biomass fuel using biomass gasification. The technology that supports the use ed is the use of renewable an ion stoves that can be applied to rural and urban areas. The gasification stove used in th e of biomass fuel is gasificaifier with a stove diameter of 15 cm. Has 5 gasifiers with height variations, namely 20cm, is research is Downdraft Ga here is one variable for Downdraft Gasifier testing, namely the height variation given to 25cm, 30cm, 35cm, 40cm. These variables, testing for Downdraft Gasifier stoves is carried out using the Indonesi the gasifier. In addition to method. an National Standard (SNI)

ords: biomassa; gasifikasi; *Downdraft Gasifier*, Standar Nasional Indonesia (SNI).

Key w

huluan

1. Penda

Kompor merupakan sebuah teknologi yang memanfaatkan energi dalam penggunaannya. Masyarakat pada umumnya menggunakan kompor dengan bahan bakar LPG dikarenakan lebih mudah dalam pemakaian dan juga efisien dibandingkan dengan kompor dengan bahan bakar lainnya seperti listrik, kayu, dll. Penyebaran bahan bakar LPG sendiri tidak merata keseluruh masyarakat. Berdasarkan data statistik BPS pada tahun 2015 persentase penggunaan bahan bakar LPG di Indonesia sebesar 68,78% dan 31,22% menggunakan bahan bakar lainnya seperti listrik, arang, kayu, minyak tanah, dll. Data statistik BPS pada tahun 2016 persentase penggunaan bahan bakar LPG meningkat menjadi 72,38% dan 27,62% lainnya menggunakan bahan bakar lainnya [1]. Selain mempunyai

keunggulan, bahan bakar LPG juga mempunyai kelemahan yaitu tidak dapat diperbaharui dikarenakan LPG merupakan bahan bakar yang diolah dari minyak bumi [2]. Oleh karena itu kita tidak dapat selamanya mengandalkan penggunaan bahan bakar LPG tersebut. Untuk mengantisipasi hal tersebut dibutuhkan sebuah teknologi alternatif yang dapat dikembangkan tanpa ketergantungan dengan bahan bakar LPG. Salah satu teknologi yang dikembangkan yaitu kompor gasifikasi dengan bahan bakar biomassa.

Biomassa merupakan energi matahari yang telah ditransformasi menjadi energi kimia oleh tumbuhan berhijau daun. Biomassa adalah semua bahan organik dari tumbuhan tersebut, mulai dari akar, batang, cabang, bunga, buah, biji, dan daun. Biomassa seperti kayu merupakan sumber energi yang telah dimanfaatkan manusia sejak dahulu dan masih dimanfaatkan sampai sekarang. Penggunaan biomassa mempunyai manfaat seperti mengurangi gas rumah kaca, mengurangi limbah organik serta melindungi kebersihan air dan tanah. Biomassa dapat dimanfaatkan untuk memproduksi energi salah satunya melalui proses termokimia seperti gasifikasi [3,4].

Gasifikasi secara bahasa dapat diartikan sebagai pembuatan gas. Secara definisi yang sebenarnya, gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) menjadi gas yang disebut *producer gas* dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Produk yang dihasilkan dari proses gasifikasi merupakan komponen yang mudah terbakar yang terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), hydrogen (H_2), dan metan (CH_4) yang disebut dengan *syngas* dan pengotor inorganik seperti NH_3 , HCN, H_2S , debu halus, serta pengotor organik yaitu tar [5,6].

Pada proses gasifikasi dibutuhkan reaktor dalam pengerjaannya. Reaktor gasifikasi biomassa dapat dibagi ke dalam beberapa kategori berdasarkan sumber panas dan arah aliran gas yang terjadi, yaitu reaktor gasifikasi tipe *Updraft*, *Downdraft*, dan *Crossdraft*. Dan pada reaktor ini ada beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti diameter reaktor tungku dan tinggi reaktor tungku. Sebelumnya sudah ada beberapa peneliti yang membahas mengenai kompor gasifikasi di Indonesia, salah satunya oleh Damanik (2012) yang melakukan penelitian menggunakan kompor gasifikasi *turbo stove* dengan aliran *force draft* dan mendapatkan efisiensi termal rata-rata yaitu 31,45 % dan waktu pengoperasian 43,14 menit dengan menggunakan bahan bakar cangkang kelapa sawit yang berukuran 0,5-2 cm dan efisiensi termal tertinggi mencapai 36,1% dan waktu pengoperasian kurang dari 30 menit menggunakan bahan bakar *tropical wood* [3]. Dalam penelitian ini menggunakan kompor gasifikasi bertipe *Downdraft*. Kompor gasifikasi tipe ini dapat dikembangkan menjadi kompor gasifikasi yang bersifat kontinu dalam penambahan bahan bakar. Pengembangan sifat kontinu ini tidak mengharuskan adanya penghentian penyalaan api selama proses penambahan bahan bakar. Selanjutnya akan dilakukan peninjauan terhadap kinerja dari kompor ketika adanya perubahan ketinggian pada *gasifier*.

2. Metode Penelitian

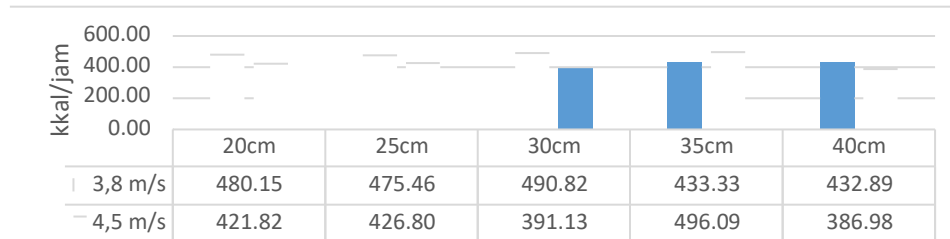
Pengujian pada kompor gasifikasi biomassa akan dilakukan dengan metode Standar Nasional Indonesia. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan pengaruh setiap keadaan dan kinerja yang terjadi pada kompor gasifikasi biomassa. Pengujian dan pengambilan data pada kompor gasifikasi berdasarkan pada SNI Kinerja Tungku Biomassa 7926:2013 dari Badan Standarisasi Nasional.

Gambar 2.1 Skema Pengujian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Laju Kalor

Laju kalor adalah laju perpindahan kalor dengan tujuan untuk meninjau kemampuan kompor gasifikasi dalam meningkatkan suhu serta menguapkan air selama proses pengujian berlangsung. Apabila nilai laju kalor semakin besar maka semakin cepat waktu operasi untuk menaikkan nilai suhu dan menguapkan air.

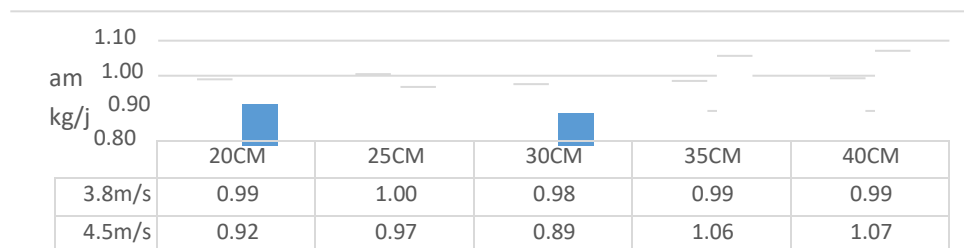


Gambar 3.1 Laju Kalor

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa ketinggian *gasifier* dan kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap nilai laju kalor. Semakin tinggi *gasifier* yang digunakan maka nilai laju kalor akan semakin rendah. Laju kalor tertinggi yang didapatkan selama pengujian terdapat pada *gasifier* 35cm menggunakan kecepatan udara 4,5 m/s dengan nilai sebesar 496,09 kkal/jam. Nilai terendah yang didapatkan pada *gasifier* 30 cm menggunakan kecepatan udara 4,5 m/s dengan nilai 391,13 kkal/jam. Adapun nilai laju kalor yang fluktuatif karena kontak antara api dan panci yang tidak stabil/merata sehingga laju perpindahan kalor menyebar dan tidak merata yang disebabkan oleh pengambilan data diluar ruangan dipengaruhi oleh faktor udara eksternal/lingkungan yang berubah-ubah.

3.2 Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar/*Fuel Consumption Rate* (FCR) merupakan cara untuk dapat mengetahui berapa banyak bahan bakar yang diperlukan selama kompor dioperasikan. Pada pengujian dengan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) Tungku Biomassa, nilai laju konsumsi bahan bakar dengan maksimum sebesar 1kg/jam.

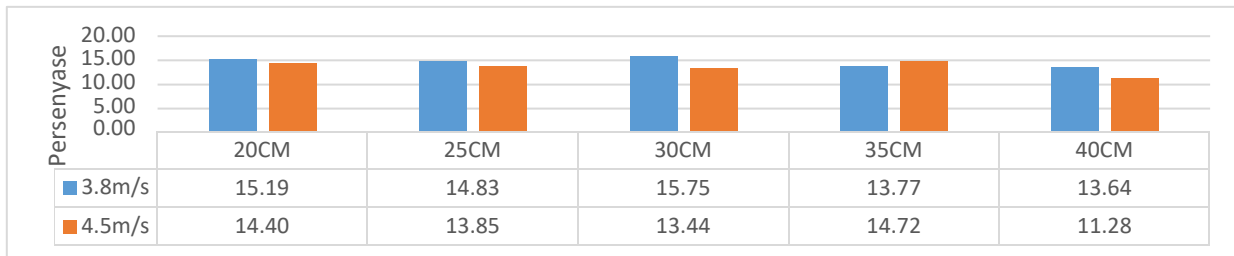


Gambar 3.2 Laju Konsumsi Bahan Bakar

Pada Gambar 3.2 terlihat bahwa semakin tinggi *gasifier* yang digunakan maka nilai FCR akan semakin tinggi dan ada beberapa nilai laju konsumsi bahan bakar yang bernilai diatas 1kg/jam, dimana nilai tersebut tidak memenuhi nilai SNI laju konsumsi bahan bakar tungku gasifikasi biomassa. Nilai yang memenuhi SNI ada pada variasi ketinggian *gasifier* 20 cm, 30 cm, 35 cm, dan 40 cm dengan kecepatan udara 3.8m/s dengan nilai kurang dari 1,00 kg/jam dan juga pada variasi kecepatan udara 4.5m/s dengan ketinggian 20 cm, 25cm dan 30cm dengan nilai kurang 1,00 kg/jam. Nilai yang tidak memenuhi SNI disebabkan oleh *supply* udara dari lingkungan yang tidak cukup agar bahan bakar tersebut tergasifikasi dengan baik didalam ruang bakar yang dipengaruhi oleh ketinggian *gasifier*. Hal ini menyebabkan kompor membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak selama proses pengujian berlangsung.

3.3 Efisiensi Termal

Pada pengukuran efisiensi termal apabila nilai yang didapatkan semakin maka kinerja kompor semakin baik. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya nilai efisiensi termal dapat meningkatkan suhu dan menguapkan air dengan cepat menggunakan bahan bakar yang seminimal mungkin.

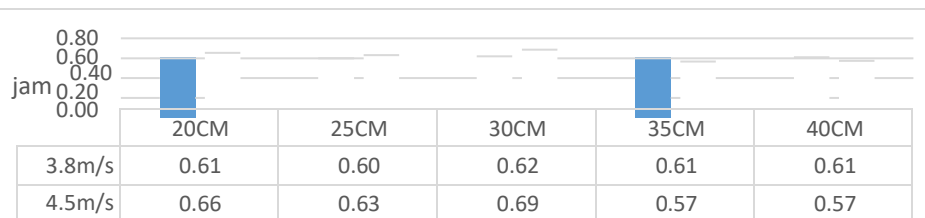


Gambar 3.3 Efisiensi Termal

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa efisiensi termal semakin turun ketika *gasifier* yang digunakan semakin tinggi dan dari seluruh pengujian belum dapat memenuhi nilai SNI dimana nilai efisiensi termal minimal adalah 20%. Pada pengujian ini efisiensi termal tertinggi yang didapatkan adalah 15,75% pada *gasifier* ketinggian 30cm dengan kecepatan udara 3,8m/s. Nilai efisiensi termal terendah yang didapatkan adalah 11,28% pada *gasifier* ketinggian 40cm dengan kecepatan aliran udara 4,5m/s. Nilai efisiensi termal yang rendah ini diakibatkan oleh kalor yang terdapat pada kompor tidak sepenuhnya berpindah ke panci sehingga kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air berkurang. Nilai efisiensi termal sangat dipengaruhi oleh nilai kalor, semakin besar nilai kalor maka semakin besar pula nilai efisiensi termal.

3.4 Waktu Operasi

Waktu operasi merupakan total waktu pengujian kompor gasifikasi dari awal api menyala sampai sudah tidak panas yang dihasilkan dari kompor tersebut. Semakin lama waktu operasi yang didapatkan pada pengujian maka akan semakin bagus kinerja tersebut dan begitu juga sebaliknya apabila waktu operasi yang didapatkan tidak cukup lama maka dapat dianggap kinerja kompor tersebut tidak terlalu baik.

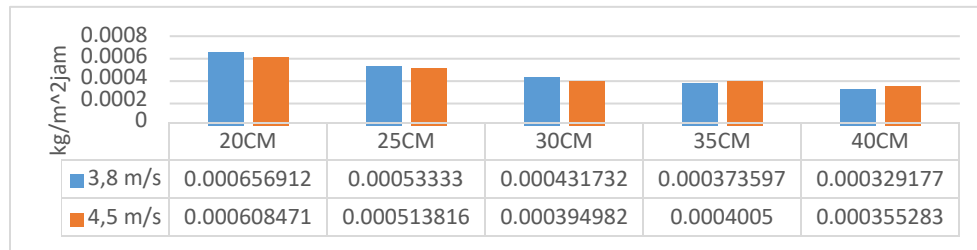


Gambar 3.4 Waktu Operasi

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan waktu operasi yang didapatkan di atas 30 menit. Pengukuran waktu operasi ini dilakukan agar dapat menghitung nilai laju konsumsi bahan bakar yang merupakan salah satu dari parameter SNI Tungku Gasifikasi Biomassa. Dengan waktu operasi tertinggi yang didapatkan pada *gasifier* ketinggian 30cm dengan kecepatan aliran udara 4,5m/s dengan nilai 0,69 jam. Waktu operasi terendah yang didapatkan adalah pada *gasifier* ketinggian 35cm dengan kecepatan aliran udara 4,5m/s dengan nilai 0,57 jam. Waktu operasi yang didapatkan ketika *gasifier* yang digunakan semakin tinggi akan semakin menurun. Hal ini disebabkan ketika menggunakan *gasifier* dengan ketinggian 40 cm laju udara sekunder yang masuk dari lingkungan cukup kecil disebabkan karena terlalu tingginya bagian badan ruang bakar sehingga udara dari lingkungan akan sulit untuk masuk ke dalam reaktor yang mengakibatkan kadar udara yang berada pada reaktor cukup rendah dan mengakibatkan pembakaran yang terjadi tidak sempurna.

3.5 Laju Spesifik Gasifikasi

Laju spesifik gasifikasi atau *Specific Gasification Rate* (SGR) mengindikasikan jumlah bahan bakar yang sudah tergasifikasi di dalam *gasifier*. Apabila nilai SGR semakin besar maka dapat disimpulkan bahwa proses gasifikasi tidak berjalan secara sempurna, begitu juga sebaliknya.

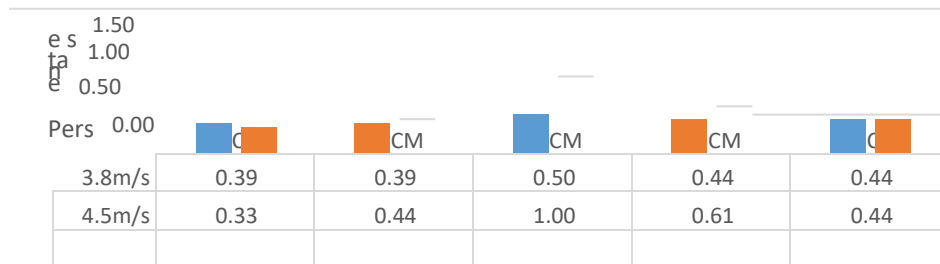


Gambar 3.5 Laju Spesifik Gasifikasi

Nilai laju spesifik gasifikasi terbesar yang didapatkan pada *gasifier* ketinggian 20 cm pada kecepatan udara 3,8 m/s dengan nilai sebesar 0,000656912 kg/m²jam. Nilai terendah yang didapatkan pada ketinggian 40cm dan kecepatan udara 3,8 m/s dengan nilai sebesar 0,000329177 kg/m²jam. Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa ketinggian *gasifier* mempengaruhi nilai SGR. Semakin tinggi *gasifier* yang digunakan maka nilai SGR akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan proses gasifikasi yang terjadi didalam kompor tidak berjalan dengan baik yang disebabkan oleh kurangnya suplai udara dari lingkungan untuk membantu proses tersebut.

3.6 Persentase Char

Pengujian kompor gasifikasi biomassa tipe *downdraft* ini menggunakan bahan bakar biomassa kelapa dengan massa 600 gr. Apabila persentase *char* yang dihasilkan rendah maka kinerja kompor akan baik. Apabila *char* yang dihasilkan cukup besar berarti proses pembakaran biomassa tidak berlangsung cukup baik.



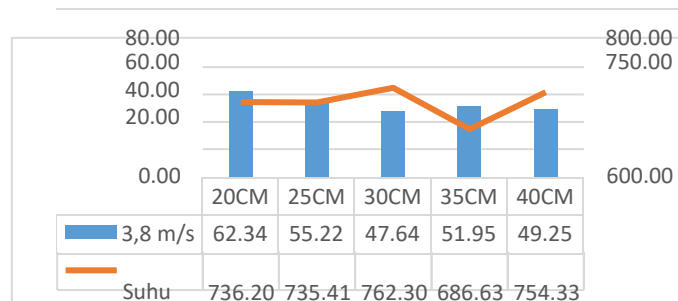
Gambar 3.6 Persentase Char

Ar 3.6 ini menampilkan persentase *char* yang didapatkan dari proses pengujian. *Char* dihasilkan dari proses pengujian kompor sudah selesai. Selama pengujian persentase *char* yang didapatkan dihitung setelah dengan nilai yang didapatkan memenuhi nilai kadar arang/abu dari SNI 6235:2000 cukup bagus dan sebesar < 8 %. Nilai persentase *char* terendah yang didapatkan adalah 0,33 % pada ketinggian 20cm dengan laju aliran udara 4,5m/s. Persentase *char* terbesar yang didapatkan adalah 1% pada ketinggian 30cm dengan laju aliran udara 4,5m/s. Persentase *char* yang rendah ini didapatkan karena sudah terbakar dengan cukup baik dengan suplai udara. Persentase Nyala Warna Api bahan bakar yang digunakan.

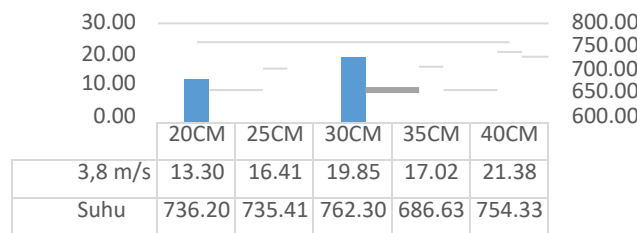
3.7 Pengaruh Suhu Terhadap Nyala Warna Api

Pada proses pengujian temperatur di *gasifier* akan semakin tinggi apabila diberikan kecepatan aliran udara yang semakin membesar dan mencapai temperatur yang lebih tinggi. Karena hal tersebut maka nyala api dibutuhkan pada proses pembakaran pada daerah oksidasi akan semakin meningkat ebut jumlah oksigen yang akan menyebarkan api yang dihasilkan oleh kompor tersebut.

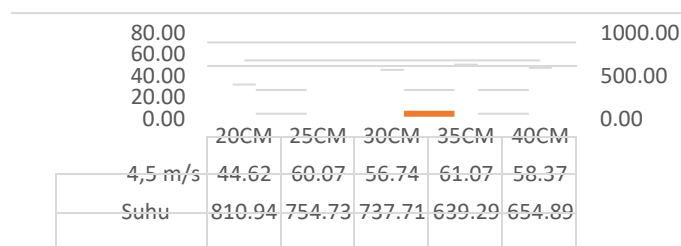
Pengukuran persentase nyala warna api ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan warna api yang dihasilkan selama pengujian. Pada penelitian kali ini warna yang ditinjau selama penelitian adalah warna merah dan biru berupa nilai persentase yang akan diuji menggunakan aplikasi matlab yang bertujuan untuk mengetahui kecenderungan warna tersebut dan akan dilakukan pengukuran bagaimana pengaruh suhu terhadap warna api yang dihasilkan.



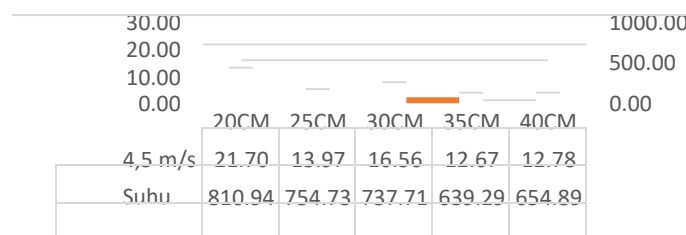
Gambar 3.7 Grafik Suhu Terhadap Nyala Warna Api Merah dengan Kecepatan Udara 3,8 m/s



Gambar 3.8 Grafik Suhu Terhadap Nyala Warna Api Biru dengan Kecepatan 3,8 m/s



Gambar 3.9 Grafik Suhu Terhadap Nyala Warna Api Merah dengan Kecepatan Udara 4,5 m/s



Gambar 3.10 Grafik Suhu Terhadap Nyala Warna Api Biru dengan Kecepatan 4,5 m/s

luruh pengujian kompor gasifikasi secara rata-rata suhu yang didapatkan dibawah 100

Dari se n warna merah. Suhu tertinggi yang didapatkan pada *gasifier* ketinggian 20cm dengan ke⁰°C dengan kecenderungan dengan nilai 810,94 °C. Hal ini dikarenakan ketinggian dipengaruhi oleh udara yang berapatan aliran udara 4.5m/s uhu terendah yang didapatkan pada *gasifier* ketinggian 35cm dengan kecepatan aliran sumber dari lingkungan S udara 4,5m/s dengan nilai 639,29 °C. Secara keseluruhan pada kecepatan 3,8m/s suhu yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan 4.5m/s dikarenakan pada kecepatan 3.8m/s proses gasifikasi lebih baik. Semakin tinggi *gasifier* yang digunakan maka suhu yang akan didapatkan semakin rendah. Hal ini dikarenakan pembakaran yang terjadi tidak sempurna pada bahan bakar karena suplai udara sekunder atau yang berasal dari lingkungan tidak cukup untuk membantu proses pembakaran didalam ruang bakar/*gasifier*.

Suhu api yang dihasilkan bersifat fluktuatif, hal ini disebabkan oleh frekuensi udara sekunder yang tidak stabil yang menyebabkan terganggunya proses pembakaran yang terjadi dan juga terdapat kebocoran pada badan kompor yang menyebabkan banyak energi kalor terlepas ke lingkungan.

Pada penelitian ini persentase warna merah tertinggi yang didapatkan adalah 62,34% pada *gasifier* ketinggian 20cm dengan kecepatan 3,8 m/s. Persentase merah terendah yang didapatkan adalah 44,62 % pada *gasifier* ketinggian 20 cm dengan kecepatan udara 4,5m/s. Persentase warna biru terbesar yang didapatkan adalah 21,70% pada *gasifier* ketinggian 20cm dengan kecepatan udara 4,5m/s. Persentase warna biru terendah yang didapatkan adalah 12,67% pada *gasifier* ketinggian 35 cm dengan kecepatan udara 4,5 m/s.

Tujuan diambil nya nilai RGB adalah menghitung persentase nyala warna api merah, hijau dan biru berdasarkan pengujian dari proses pembakaran kompor gasifikasi biomassa. Dari hasil yang didapatkan dapat dibandingkan dengan nilai suhu yang didapatkan dengan tujuan pembuktian apakah suhu berkaitan dengan nyala warna api.

3.8 Keseimbangan Massa

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

Tabel 4. 1 Keseimbangan Massa

Massa Masuk (kg)				Massa Keluar (kg)			
		Biomassa	Total	Syn-Gas	Arang-karbon	Ash	Total
Massa udara Utan 3,8 (Kecepatan 3 m/s)	$1,66 \times 10^{-5}$	0,600	0,600	0,4129	0,1026	0,0453	0,5609
Massa udara Utan 4,5 (Kecepatan 4 m/s)	$2,32 \times 10^{-5}$	0,600	0,600	0,4129	0,1026	0,0453	0,5609

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa besarnya massa keluar sudah mendekati jumlah massa yang masuk. Hal ini menandakan bahwa proses pengujian termasuk kedalam keadaan *steady state process*. Massa yang keluar lebih kecil dibandingkan dengan massa yang masuk, hal ini dikarenakan saat proses pembakaran terjadi ada material keluaran yang tidak dapat diukur sebesar 0,0391 kg.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan kompor gasifikasi biomassa dengan tipe *downdraft* dengan pola aliran udara *direct*, diperoleh kesimpulan bahwa pengujian kompor gasifikasi biomassa telah menunjukkan performa dan kinerja kompor gasifikasi yang cukup baik dengan menggunakan variasi ketinggian *gasifier* dan kecepatan aliran udara. Pengujian kompor gasifikasi dilakukan dengan metode **Standar Nasional Indonesia (SNI)** Tungku Biomassa dalam hal laju konsumsi bahan bakar ≤ 1 kg/jam. Namun, untuk nilai efisiensi termal yang didapatkan belum memenuhi nilai SNI dimana nilai minimal efisiensi termal yang dibutuhkan adalah 20 %. Dengan menggunakan kecepatan aliran udara 3,8 m/s terdapat 4 variasi ketinggian *gasifier* yang memenuhi nilai SNI yaitu *gasifier* ketinggian 20 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, dan 1 variasi ketinggian *gasifier* yang tidak memenuhi standar tersebut yaitu *gasifier* ketinggian 25 cm. Nilai efisiensi termal terbaik yang didapatkan adalah 15,7466 % pada *gasifier* ketinggian 30 cm dengan kecepatan aliran udara 3,8 m/s. Nilai terendah efisiensi termal yang didapatkan adalah 11,27735 % pada *gasifier* ketinggian 40 cm dengan kecepatan aliran udara 4,5 m/s.

REFERENSI

- [1] S. D. Lailun Najib, "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa," 2012.
- [2] "Persentase Rumah Tangga Menurut Provinsi dan Bahan Bakar Utama Untuk Memasak Tahun 2001, 2007-2016," Badan Pusat Statistik, 14 November 2017. [Online].
- [3] A. Adiansyah and O. Hidyatama, "RANCANG BANGUN PROTOTIPE ELEVATOR MENGGUNAKAN MICROCONTROLLER ARDUINO ATMEGA 328P," 2013.
- [4] R. Anggara, "Pengaruh Jumlah Lubang Udara Pada Tungku Pembakaran Serta Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Dengan Bahan Bakar Pelet Kayu Jati," 2018.
- [5] Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," 2010.
- [6] S. Arifin and A. Fathoni, "Pemanfaatan Pulse Width Modulation Untuk Mengontrol Motor," 2014.