

**PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP KINERJA  
TUNGKU GASIFIKASI TIPE *DOWNDRAFT CONTINUE* DENGAN  
PENGISIAN ULANG 2 KALI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**MUHAMMAD ISMAIL AL RHOSHID**

**D 200 120 124**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2016**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP KINERJA  
TUNGKU GASIFIKASI TIPE *DOWNDRAFT CONTINUE* DENGAN  
PENGISIAN ULANG 2 KALI**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**MUHAMMAD ISMAIL AL RHOSHID**

**D 200 120 124**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Subroto, MT**  
**NIK. 577**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP KINERJA  
TUNGKU GASIFIKASI TIPE *DOWNDRAFT CONTINUE* DENGAN  
PENGISIAN ULANG 2 KALI**

Oleh :

**MUHAMMAD ISMAIL AL RHOSHID**

**D 200 120 124**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Pada hari Senin, 17 Oktober 2016**

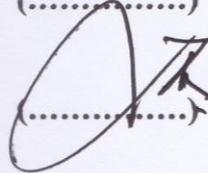
**dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

1. Ir. Subroto, MT  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Sartono Putro, MT  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Tri Tjahjono, MT  
(Anggota II Dewan Penguji)

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)

**Dekan,**



**Ir. Sri Sunarjono, MT, Ph.D**

**NIK. 682**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Kamis 27 Oktober 2016

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. I. Al Rhoshid', written over a horizontal line.

**MUHAMMAD ISMAIL AL RHOSHID**  
**D 200 120 124**

# **PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP KINERJA TUNGKU GASIFIKASI TIPE *DOWNDRAFT CONTINUE* DENGAN PENGISIAN ULANG 2 KALI**

## **Abstrak**

Biomassa merupakan salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) yang sifatnya dapat diperbaharui, contohnya adalah sekam padi. Namun dalam kehidupan sehari-hari sekam padi hanya digunakan sebagai bahan untuk membantu proses pembakaran batu bata atau hanya dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan secara lebih lanjut, oleh sebab itu sekam padi perlu diproses lagi agar lebih efisien. Salah satunya adalah dengan metode gasifikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur udara terhadap temperatur pembakaran, waktu penyalaan dan waktu nyala efektif tungku gasifikasi berbahan bakar sekam padi. Penelitian ini menggunakan tungku gasifikasi tipe *downdraft* yang berarti arah aliran udara dan gas hasil gasifikasi searah yaitu ke bawah. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan temperatur udara yang masuk ke dalam tungku gasifikasi dengan variasi temperatur udara 40°C, 50°C dan 60°C kemudian mengambil data yang meliputi temperatur pembakaran, waktu penyalaan dan waktu nyala efektif. Hasil penelitian menunjukkan variasi temperatur udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, waktu penyalaan dan waktu nyala efektif tungku yang dihasilkan. Pada temperatur udara 40°C rata-rata temperatur pembakaran tertinggi sebesar 547,1°C waktu penyalaan 7 menit dan waktu nyala efektif selama 53 menit. Temperatur udara 50°C rata-rata temperatur pembakaran tertinggi sebesar 553,6°C waktu penyalaan 6 menit dan waktu nyala efektif selama 50 menit. Sedangkan pada temperatur udara 60°C rata-rata temperatur pembakaran tertinggi sebesar 550,6°C waktu penyalaan 5 menit dan waktu nyala efektif selama 42 menit.

Kata kunci: *Downdraft Continue*, Gasifikasi, Sekam Padi, Temperatur Udara

## **Abstract**

Biomass is one of alternative energy to replace fossil fuels (petroleum) that are renewable, for example, is rice husk. But in everyday life only rice husks used as an ingredient to help the process of burning bricks or simply dumped without further utilized, therefore the further processing of rice husk to be more efficient. One of them is the method of gasification. The purpose of this study was to determine the effect of air temperature on the combustion temperature, ignition time and time effective flame-fired furnace gasification of rice husk. This study uses a type of *downdraft* gasification furnace which means the direction of air flow and the direction of gas gasification is down. The study was conducted by varying the temperature of the incoming air into the gasification furnace with variations in air temperature 40°C, 50°C and 60°C and then retrieve data that includes combustion temperatures, ignition timing and effective burning time. The

results showed variations in air temperature affect the combustion temperature, ignition time and time effective flame furnace produced. At an air temperature of 40°C on average the highest combustion temperature of 547,1°C Ignition time 7 minutes and time effective flame for 53 minutes. Air temperature 50°C on average the highest combustion temperature of 553,6°C Ignition time 6 minutes and time effective flame for 50 minutes. While the air temperature of 60°C average the highest combustion temperature of 550,6°C ignition timing 5 minutes and time effective flame for 42 minutes.

Keywords: Downdraft Continue, Gasification, Rice Husk, Air Temperature

## 1. PENDAHULUAN

Minyak bumi adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, dalam kehidupan sehari-hari bahan bakar minyak masih menjadi pilihan utama sehingga menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi, dengan kata lain minyak bumi akan habis pada waktu tertentu. Mengingat cadangan minyak bumi di Indonesia semakin terbatas, dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi maka perlu dilakukan penghematan sumber energi. Penghematan dapat dilakukan melalui pemanfaatan bahan bakar atau energi yang bersumber dari energi terbarukan misalnya biomassa.

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan dan produk lainnya seperti sampah kebun, sampah hutan maupun hasil panen yang sudah tidak terpakai. Namun pemanfaatan limbah biomassa itu cenderung kurang efisien, dikarenakan masih memiliki kandungan kadar air yang tinggi, berat jenis rendah, kadar abu yang tinggi dan nilai kalor yang rendah, oleh sebab itu limbah biomassa perlu diproses lagi agar menghasilkan bahan bakar yang lebih efisien. Banyak cara atau metode yang bisa diterapkan untuk mengolah limbah biomassa tersebut, salah satunya adalah dengan metode gasifikasi.

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Berdasarkan arah alirannya gasifikasi dibedakan menjadi tiga, yaitu : gasifikasi tipe *downdraft*, *updraft* dan *crossdraft*. Gasifikasi tipe *downdraft* adalah gasifikasi yang memiliki arah padatan dan aliran udara yang sama yaitu ke bawah menuju zona gasifikasi yang panas, hal ini

memungkinkan tar yang terdapat pada asap terbakar sehingga gas yang dihasilkan lebih bersih. Keuntungan gasifikasi tipe *downdraft* adalah dapat dioperasikan secara berkelanjutan dengan cara menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor.

### **Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur udara terhadap temperatur pembakaran
2. Untuk mengetahui pengaruh temperatur udara terhadap waktu penyalaan
3. Untuk mengetahui pengaruh temperatur udara terhadap waktu nyala efektif

### **Tinjauan Pustaka**

Hendra (2014), “Kaji Eksperimental Karakteristik Dasar Gasifikasi Batubara Muda Aceh” Penelitian ini dilakukan pada temperatur ruang gasifikasi dengan variasi 180°C, 200°C, 600°C, dan 800°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur gasifikasi semakin besar persentase laju penurunan massa. Temperatur gasifikasi juga berpengaruh terhadap potensi kandungan senyawa gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk selama proses berlangsung. Semakin tinggi temperatur gasifikasi semakin besar kandungan senyawa gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk dalam gas yang dihasilkan.

Karnowo (2011), “Optimasi Unjuk Kerja *Fluidized Bed Gasifier* dengan Memvariasi Temperature Udara Awal” Penelitian dilakukan dengan memvariasikan temperatur awal udara yaitu 30°C hingga 400°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur awal udara gasifikasi berpengaruh terhadap efisiensi gasifikasi. Efisiensi gasifikasi yang terbaik didapatkan pada temperatur awal udara 300°C yaitu sebesar 65,78%.

Santosa (2015), melakukan pengujian gasifikasi menggunakan *crossdraft gasifier* dengan bahan bakar sekam padi. Hasil dari penelitian menunjukkan variasi temperatur awal udara sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, nyala efektif serta efisiensi thermal tungku yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur awal udara maka semakin tinggi pula temperatur pembakaran yang dihasilkan. Sebaliknya semakin tinggi temperatur awal udara maka akan

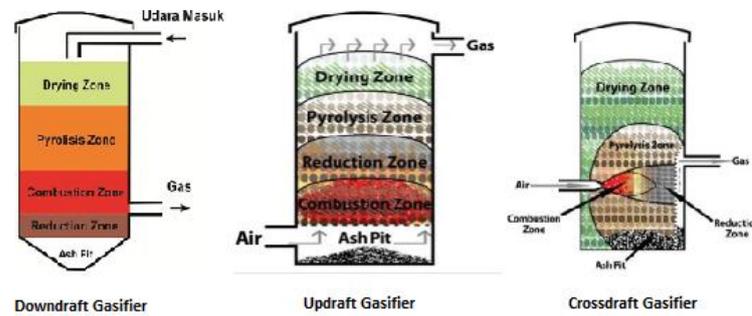
semakin pendek nyala efektif yang didapatkan dan pemanasan awal udara tidak berpengaruh secara signifikan terhadap waktu penyalaan awal tungku.

### **Gasifikasi**

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu: padatan, cairan dan gas permanen. Gas hasil dari sebuah proses gasifikasi terdiri dari gas-gas yang dapat dibakar yaitu CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>, serta gas-gas yang tidak dapat terbakar seperti CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Komposisi gas tersebut sangat tergantung pada komposisi unturnya, bentuk maupun ukuran partikel dari bahan bakar yang digunakan. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang dikenal dengan *gasifier*. Jenis *gasifier* yang ada saat ini dapat dikelompokkan berdasarkan mode fluidisasi, arah aliran dan jenis gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi (*gasifying agent*).

Berdasarkan mode fluidisasinya, *gasifier* dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: mode gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), mode gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), mode gasifikasi *entrained flow*. Sampai saat ini yang digunakan untuk skala proses gasifikasi skala kecil adalah mode *gasifier* unggun tetap.

Berdasarkan arah aliran, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi: reaktor aliran searah (*downdraft gasifier*), reaktor aliran berlawanan (*updraft gasifier*) dan reaktor aliran menyilang (*crossdraft gasifier*). Pada *downdraft gasifier*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama - sama ke bawah. Pada *updraft gasifier*, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas mengalir ke atas. Sedangkan gasifikasi *crossdraft* arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah.



**Gambar 1.** Tipe *Gasifier* Berdasarkan Arah Aliran

Berdasarkan *gasifying agent* yang diperlukan, terdapat gasifikasi udara dan gasifikasi oksigen/uap. Gasifikasi udara adalah metode dimana gas yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah udara. Sedangkan pada gasifikasi uap, gas yang digunakan pada proses yang terjadi adalah uap.

Penelitian ini menggunakan *downdraft gasifier*, dengan pemanasan udara awal dan pengisian ulang. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan yang dimiliki sistem gasifikasi dengan metode arah aliran searah :

Kelebihan :

- Dapat di isi ulang dengan cara menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor.

Kekurangan :

- Hanya dapat digunakan oleh bahan bakar (biomassa) tertentu karena sangat sensitif terhadap kelembaban biomassa, umumnya *gasifier* tipe ini dapat bekerja dengan efektif bila kandungan *moisture* biomassanya yang sangat rendah (<20%).
- Kadar karbon pada abu relatif lebih tinggi daripada sistem *updraft*.

### **Faktor Yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi**

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan *syngas* yang dihasilkannya, faktor-faktor tersebut adalah :

1. Properties Biomassa
2. Desain reaktor
3. Jenis *Gasifying Agent*
4. Rasio Bahan Bakar dan Udara
5. Temperatur Gasifikasi

## Tahapan Proses Gasifikasi

### a. *Drying* atau pengeringan

Proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung di dalam biomassa bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100 °C sampai 300°C. Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air biomassa. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomassa sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat.

### b. Pirolisis atau devolatilisasi

Pirolisis terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan temperatur. Pada tahap ini volatil yang terkandung pada biomassa terlepas dan menghasilkan arang. Selain itu pirolisis atau devolatilisasi biasa disebut juga dengan gasifikasi parsial. Rangkaian proses fisik dan kimia pada proses pirolisis terjadi secara lambat pada suhu kurang dari 100°C, namun ketika sudah mencapai suhu 200°C akan terjadi secara cepat hingga suhu bahan bakar meningkat sekitar 230°C. Hasil dari proses pirolisis ada tiga jenis, yaitu gas ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan  $CH_4$ ), tar dan arang.

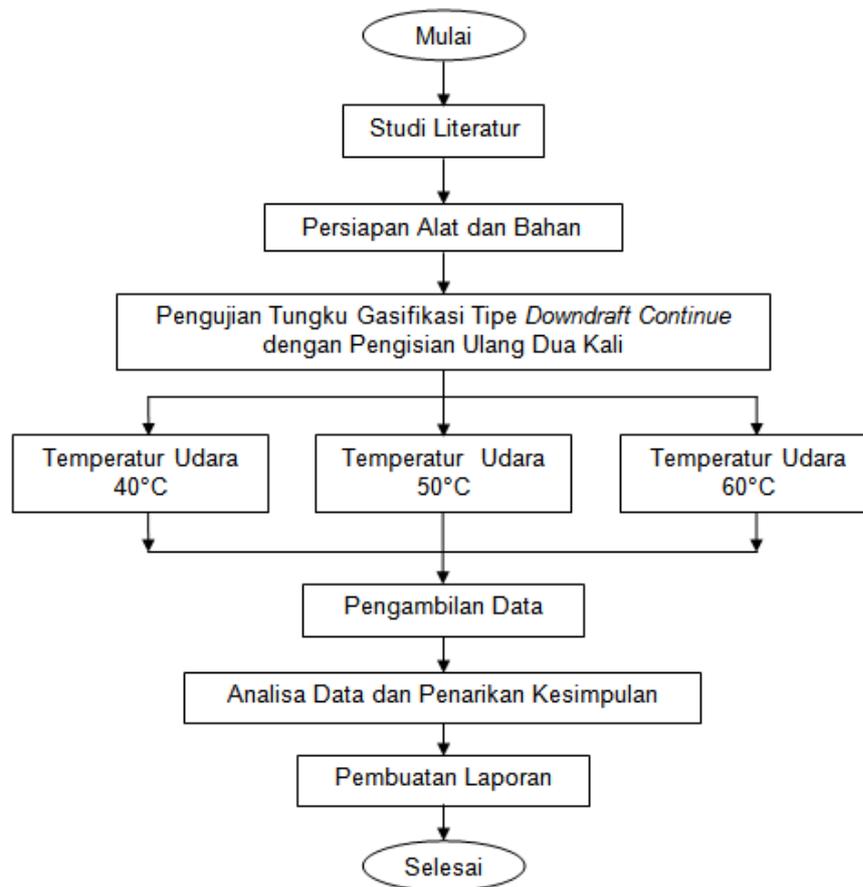
### c. Oksidasi atau proses pembakaran

Oksidasi atau pembakaran merupakan reaksi yang penting yang terjadi dalam *gasifier* atau reaktor. Oksigen yang dipasok ke dalam reaktor akan bereaksi dengan bahan bakar yang mudah terbakar. Dari reaksi tersebut akan menghasilkan gas  $CO_2$  dan  $H_2O$  yang secara berurutan direduksi ketika saling kontak dengan arang yang dihasilkan dari proses pirolisis.

### d. Proses Reduksi

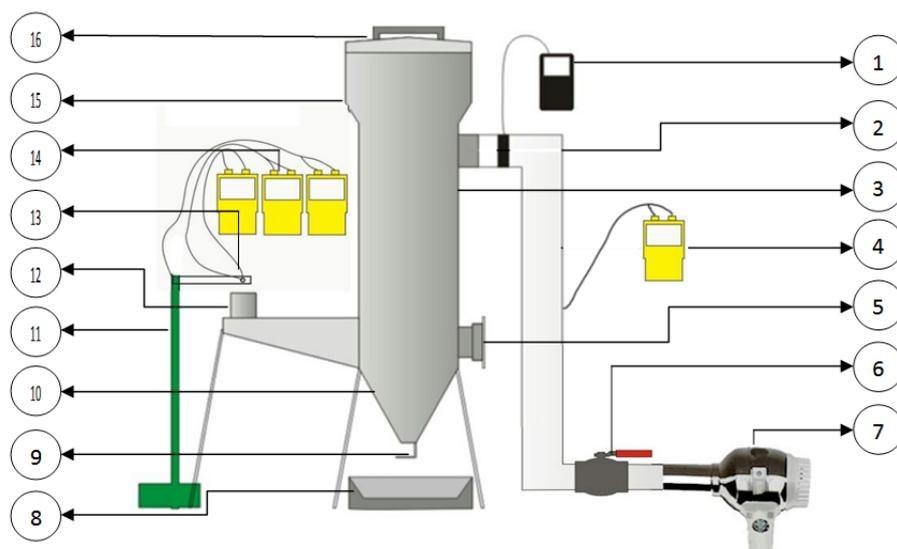
Reduksi merupakan tahapan gasifikasi yang melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang didukung oleh panas, serta diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti  $H_2$ , CO dan  $CH_4$ .

## 2. METODE PENELITIAN



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### Instalasi Pengujian



Gambar 3. Instalasi Pengujian

**Keterangan :**

- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Anemometer                         | 9. Ash Discharge                   |
| 2. Saluran Udara                      | 10. Throat                         |
| 3. Reaktor                            | 11. Sensor Clamp                   |
| 4. Thermocouple Reader<br>(Hairdryer) | 12. Burner                         |
| 5. Saluran Ignition                   | 13. Sensor Thermocouple 1, 2 dan 3 |
| 6. Katup Pengatur Udara               | 14. Thermocouple Reader            |
| 7. Hairdryer                          | 15. Storage                        |
| 8. Ash Chamber                        | 16. Tutup                          |

**Alat**

- a. Tungku Gasifikasi Tipe *Downdraft Continue*
- b. Thermocouple Reader
- c. Anemometer
- d. Hairdryer
- e. Timbangan
- f. Stopwatch
- g. Katub Pengatur Udara

**Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian atau pengujian ini adalah sekam padi sebagai bahan bakar utama dan arang kayu sebagai bahan untuk proses penyalaan awal didalam tungku gasifikasi *downdraft continue*.

**Tahapan Pengujian**

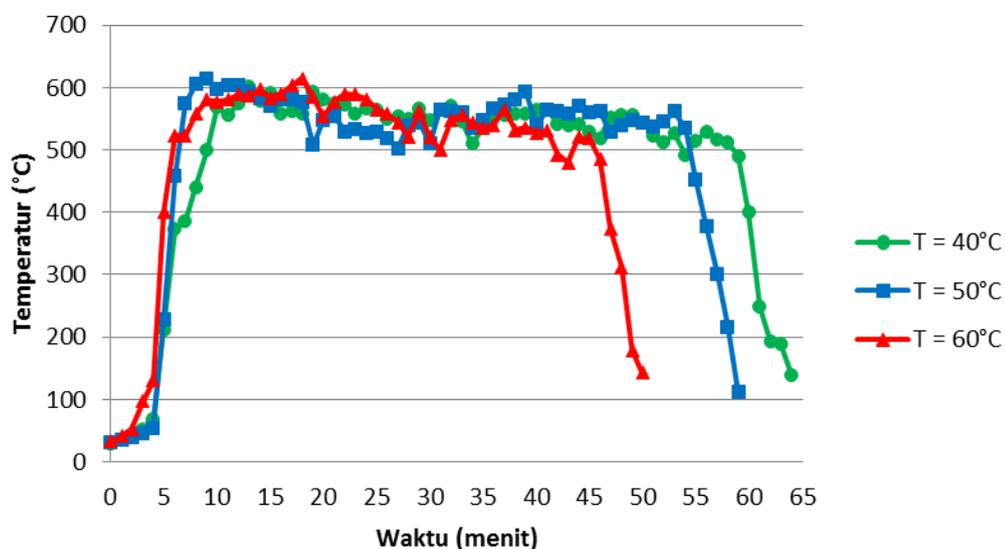
Tahapan penelitian pengaruh temperatur udara terhadap kinerja tungku gasifikasi tipe *downdraft continue* adalah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
- b. Memasukkan sekam padi yang sudah diukur massanya sebesar 2,5 kg ke dalam reaktor tungku gasifikasi dan menutupnya.
- c. Mengukur kecepatan udara yang akan disuplai ke dalam tungku sebesar 6 m/s.
- d. Mengukur temperatur udara hairdryer sesuai dengan yang telah ditentukan.
- e. Membakar sebagian sekam padi dengan penyalaan awal menggunakan arang kayu dengan massa 9 gr.
- f. Menyalakan hairdryer sebagai pemasok udara panas dan mulai mengukur waktu dengan menyalakan stopwatch.
- g. Menunggu hingga keluar gas metana yang diinginkan keluar dari burner tungku dan menyalakannya.
- h. Mencatat waktu penyalaan, temperatur nyala api tiap menit dan waktu nyala efektif api hingga api padam dan tak dapat menghasilkan api lagi.

- i. Mengeluarkan sedikit sisa sekam padi yang telah terbakar dengan mendorongnya keluar melalui atas tungku dan melakukan pengisian ulang sekam padi sebesar 1 kg yang dilakukan secara bertahap sebanyak 2 kali.
- j. Melakukan percobaan yang sama dengan menggunakan variasi temperatur udara yang berikutnya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

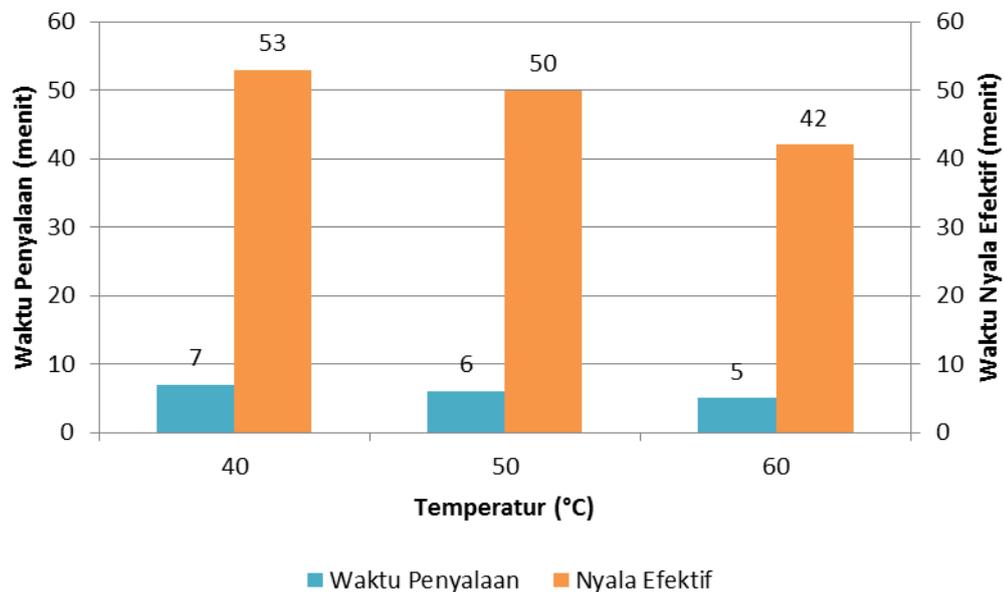
#### Perbandingan temperatur pembakaran pada variasi temperatur udara dengan pengisian ulang 2 kali



**Gambar 4.** Hubungan antara waktu dengan temperatur pembakaran pada variasi temperatur udara dengan pengisian ulang 2 kali

Dari Gambar 4. diatas mempertlihatkan panjang nyala api yang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur udara yang digunakan semakin cepat pula laju penurunan massa sehingga nyala efektif yang dihasilkan akan semakin pendek. Pada gambar diatas juga memperlihatkan bahwa temperatur pembakaran yang tidak stabil, salah satu penyebabnya adalah bahan bakar yang berada didalam tungku tidak bisa turun sendiri maka harus mendorong bahan bakar yang tersisa melalui bagian atas reaktor. Dari ketiga variabel temperatur udara yang digunakan, didapatkan rata-rata temperatur pembakaran tertinggi pada temperatur udara 50°C, yaitu sebesar 553,6°C. Sedangkan pada temperatur udara 40°C dan 60°C adalah sebesar 547,1°C dan 549,1°C.

### Perbandingan waktu penyalaaan dan nyala efektif tungku



**Gambar 5.** Perbandingan hubungan antara temperatur dengan waktu penyalaaan dan nyala efektif tungku pada variasi temperatur udara dengan pengisian ulang 2 kali

Dari Gambar 5. diatas menunjukkan bahwa waktu yang paling cepat untuk menghasilkan gas yang dapat dibakar adalah pada temperatur udara 60°C, yaitu selama 5 menit namun nyala efektif yang dihasilkan hanya 42 menit. Pada temperatur udara 50°C waktu penyalaaannya selama 6 menit dengan nyala efektif selama 50 menit. Sedangkan pada temperatur udara 40°C membutuhkan waktu selama 7 menit untuk penyalaaannya namun nyala efektif yang dihasilkan adalah yang paling panjang, yaitu selama 53 menit.

## 4. PENUTUP

### Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian, analisa dan pembahasan pada kinerja tungku gasifikasi *downdraft continue* pada temperatur udara 40°C, 50°C dan 60°C dengan pengisian ulang 2 kali diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran gas hasil gasifikasi, rata-rata temperatur pembakaran tertinggi berada pada temperatur udara 50°C sebesar 553,6°C, temperatur udara 60°C sebesar 549,1°C dan pada temperatur udara 40°C sebesar 547,1°C.
2. Temperatur udara berpengaruh terhadap lama waktu penyalaaan, namun pengaruhnya cukup sedikit, hanya berselisih 1 menit pada tiap variabel. Pada

temperatur udara 40°C selama 7 menit, temperatur udara 50°C selama 6 menit dan pada temperatur udara 60°C selama 5 menit.

3. Temperatur udara berpengaruh terhadap waktu nyala efektif yang dihasilkan, nyala efektif terpanjang yaitu pada temperatur udara 40°C selama 53 menit, temperatur udara 50°C selama 50 menit dan pada temperatur udara 60°C selama 42 menit. Semakin besar temperatur udara yang digunakan maka semakin pendek nyala efektif tungku yang akan dihasilkan.

### **Saran**

Setelah melakukan pengujian pada kinerja tungku gasifikasi *downdraft continue* pada temperatur udara 40°C, 50°C dan 60°C dengan pengisian ulang 2 kali, didapatkan saran sebagai berikut :

1. Memperhatikan langkah percobaan atau penelitian secara teliti agar tidak terjadi perbedaan pada penetapan variabel tetapnya. Seperti kondisi sekam padi, kondisi tungku dan waktu pelaksanaan tahap penelitian.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan bakar biomassa selain sekam padi untuk menghasilkan performa tungku yang lebih maksimal.
3. Pengujian sebaiknya dilakukan diruangan yang memiliki ventilasi yang baik atau memiliki saluran penghisap asap, dikarenakan proses gasifikasi ini menghasilkan asap yang cukup banyak.
4. Menggunakan masker, kaos tangan dan kacamata pelindung saat melakukan pengujian untuk meminimalisasi adanya cedera saat pengujian.

### **PERSANTUNAN**

Puji syukur alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas bekah, rahmat, dan hidanya-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian tugas akhir dapat terselesaikan :

Tugas Akhir berjudul “PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP KINERJA TNGKU GASIFIKASI TIPE *DOWNDRAFT CONTINUE* DENGAN PENGISIAN ULANG 2 KALI“ dapat diselesaikanVatas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tersayang, yang senantiasa mendoakan yang terbaik untuk kami putra-putranya, sehingga kami bisa sampai saat ini.

3. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Tri Widodo BR, ST., MSc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Ir. Subroto, MT selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa memberikan arahan dan masukan-masukan yang sangat bermanfaat bagi terselesaikannya tugas ini.
6. Ir. Sartono Purto, MT selaku dosen pembimbing pendamping dan dosen pembimbing akademik telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta yang senantiasa memotifasi kuliah saya selama 4 tahun.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2012 yang telah berjuang bersama selama 4 tahun baik suka maupun duka.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Dutta, P.P., Pandey, V., Das, A.R., Sen, S., Baruah, D.C., (2014). *Down Draft Gasification Modelling and Experimentation of Some Indigenous Biomass for Thermal Applications*, Journal of Energy Procedia, Vol. 54 (2014) p. 21–34.
- Gatut Sasmita Ferri Laksono, (2014). “*Analisa Emisi Gas Buang Mesin Dua Langkah Dual Fuel (Bensin – Syngas) Gasifikasi Sekam Padi dengan Variasi Temperatur Reaktor Gasifikasi*”. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember, Jember.
- Hendra Andika, (2014). “*Kaji Eksperimental Karakteristik Dasar Gasifikasi Batubara Muda Aceh*”. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam, Banda Aceh.
- Himawanto, D. A. (2005), *Pengaruh Temperatur Karbonasi terhadap Karakteristik Pembakaran Briket*. Jurnal Media Mesin, Volume 6 No. 2, (Juli 2005), hal 84-91. Surakarta
- I Nyoman Suprpta Winaya, Made Sucipta, I Dewa Made Susila, (2011). *Pengaruh Temperatur Operasi dan Kecepatan Superfisial Terhadap Komposisi Gas Produser pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Sampah Terapung*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Cakram Vol. 5 No. 1 (April 2011) hal. 85-90.

Karnowo, S.Anis, Wahyudi, W.D.Rengga, (2011). *Optimasi Unjuk Kerja Fluidized Bed Gasifier dengan Memvariasi Temperature Udara Awal*, Jurnal Sain dan Teknologi Sainteknol Vol. 9 No. 1 (Juli 2011), hal. 33-38.

Santosa Giri, (2015). "*Pengaruh Pemanasan Awal Udara terhadap Performa Crossdraft Gasifier dengan Bahan Bakar Sekam Padi.*" Skripsi. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.