

# PENGEMBANGAN TEKNOLOGI TUNGKU PEMBAKARAN DENGAN AIR HEATER TANPA SIRIP

Sartono Putro, Sumarwan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. Ahmad Yani Tromol Pos 1 Pebelan, Kartasura  
Email: sartono\_putro@ums.ac.id

## ABSTRAK

*Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan air heater tanpa sirip pada tungku pembakaran terhadap temperatur tungku pembakaran, temperatur gas cerobong, waktu pendidihan air dan mengetahui nilai efisiensi tungku pembakaran dengan bahan bakar sekam padi.*

*Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian pengaruh temperatur tungku pembakaran, temperatur gas cerobong, temperatur gas air heater, lama waktu pendidihan air, serta mengetahui nilai efisiensi thermal tungku berbahan bakar sekam padi dengan penambahan air heater tanpa sirip sebagai laluan udara dalam proses pembakaran dengan variasi kecepatan udara 9,5 m/s, 10,5 m/s, 11,5 m/s.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara pada air heater sangat berpengaruh pada temperatur tungku pembakaran, temperatur gas cerobong, waktu pendidihan air dan efisiensi tungku. Dimana temperatur tungku tertinggi didapat pada kecepatan udara 9,5 m/s dengan temperatur 636°C, temperatur gas cerobong tertinggi 427 °C pada kecepatan udara 11,5 m/s, waktu pendidihan air tercepat pada kecepatan udara 9,5 m/s dengan waktu 100 menit dan nilai efisiensi tungku pembakaran terbaik adalah 64,65% pada percobaan tungku pembakaran dengan penambahan air heater tanpa sirip dengan kecepatan udara 9,5 m/s.*

**Kata Kunci:** tungku pembakaran, air heater, variasi kecepatan udara.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Penggunaan energi terbarukan sebagai energi alternatif sudah merupakan suatu keharusan karena cadangan minyak bumi di Indonesia semakin menipis. Bila melihat profil produksi minyak nasional ke belakang, pada tahun 1973-2008 produksi minyak nasional tidak pernah mengalami peningkatan masih berada pada angka 1,2 -1,3 juta barel per hari (bph), padahal jumlah penduduk meningkat terus sehingga konsumsi bahan bakar minyak pun turut

meningkat. Jika kondisi ini tidak segera teratasi, Indonesia akan mengalami krisis energi berkepanjangan, akibatnya sangat fatal akan terjadi kebangkrutan ekonomi nasional. Sebagai negara agraris, Indonesia sebenarnya memiliki potensi biomassa khususnya sekam padi yang cukup besar. Berdasarkan data tahun 2008-2010, Indonesia setiap tahun panen padi rata-rata sebesar 57,288 juta ton (BPS, 2010). Jika setiap satu kilogram padi dihasilkan 280 gram sekam, untuk total produksi 60,25 juta ton (2010) dihasilkan 12 juta ton sekam padi.

Masyarakat Indonesia terutama masyarakat pedesaan banyak sekali ditemukan industri-industri kecil seperti industri tahu, tempe, kerupuk dan masih banyak lagi industri kecil yang lainnya. Dimana industri tersebut masih banyak menggunakan tungku sederhana dalam proses memasaknya, tungku yang dibuat tanpa ada teori atau metode tertentu hanya melihat tungku-tungku yang sebelumnya pernah dibuat oleh orang-orang terdahulu. Pembakaran yang dihasilkan kurang stabil dan api kurang terpusat pada bejana air sehingga proses memasak kurang maksimal.

Agar tungku lebih efisien sehingga panas yang dihasilkan terpusat pada bejana dan api yang dihasilkan lebih besar dan stabil maka dengan mendesain ulang tungku dan menambahkan udara panas yang dihasilkan dari *air heater*, dan dengan mengatur kecepatan udara pada *air heater* sehingga udara yang masuk pada ruang bakar sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran sekam padi, dengan mencoba beberapa kecepatan udara sehingga didapatkan kecepatan udara dengan nilai efisiensi tungku yang paling baik. Dari penelitian ini berharap mendapat desain tungku ber*air heater* dengan kecepatan udara yang sesuai sehingga didapat desain tungku yang lebih efisien dan dapat menekan biaya produksi dengan proses memasak yang lebih cepat dan hemat bahan bakar.

### Rumusan Masalah

Menganalisis pengaruh kinerja tungku pembakaran dengan penambahan udara panas yang dihasilkan *air heater* didalam tungku dengan tiga variasi kecepatan udara terhadap temperatur tungku pembakaran, temperatur gas cerobong, waktu pendidihan air, dan efisiensi thermal tungku.

### Tujuan Penelitian

Mengetahui kinerja penambahan *air heater* tanpa sirip pada tungku pembakaran dengan tiga variasi kecepatan udara terhadap:

1. Temperatur tungku pembakaran
2. Temperatur gas cerobong

3. Waktu pendidihan air
4. Efisiensi thermal tungku

### Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini baik bagi Peneliti dan Masyarakat luas adalah:

1. Peneliti mendapat ilmu dan pengetahuan baru dari penelitian tentang tungku pembakaran.
2. Dari hasil penelitian ini dapat diaplikasikan kepada masyarakat agar dapat menambah pengetahuan dan wawasan masyarakat tentang pemanfaatan tungku dengan baik dan hasil maksimal.
3. Meningkatkan efisiensi pembakaran dengan model tungku dan penambahan udara panas dari air heater dengan variasi kecepatan udara.

### Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengujian ini yaitu:

1. Kondisi temperatur udara sekitar dianggap seragam.
2. Menggunakan desain *air heater* tanpa sirip.
3. Bahan bakar yang digunakan yaitu sekam padi.
4. Menggunakan 3 variasi kecepatan udara pada *air heater* yaitu 9,5 m/s, 10,5 m/s dan 11,5 m/s.

### TINJAUAN PUSTAKA

Irvan (2007), Pemanfaatan sekam atau kulit terluar dari gabah padi belum begitu optimal, petani hanya memanfaatkannya untuk campuran dan pembakaran batu bata dan genteng. Padahal hasil limbah pertanian ini dapat dijadikan energi alternatif yang murah dan ramah lingkungan. Dengan merancang suatu alat reaktor gasifikasi sekam dalam bentuk yang praktis dan murah, sehingga mudah terjangkau bagi masyarakat luas. Dari perancangan diperoleh sebuah rangkaian sistem mekanisme dengan pemakaian motor listrik ¼ HP ; 1410 rpm direduksikan pada reduser melalui poros sehingga didapat putaran kipas penyapu sebesar 10 rpm. Didapat efisiensi pemisahan siklon sebesar 99,7% dan daya gas pada burner sebesar 40 kW.

Musthofa, Luthfi dkk (2010) melakukan penelitian tungku di lengkapi blower dengan bahan bakar biomassa sampah kering dan sekam padi. Blower di variasikan kecepatannya dengan cara mengatur tegangan yaitu dengan tegangan 12 volt, 9 volt, 7,5 volt dan tanpa blower. Hasil dari penelitian menunjukkan efisiensi thermal tungku tertinggi menggunakan blower tegangan 7,5 volt.

Prastiyo, Dwi 2012 melakukan penelitian tungku grafisikasi bahan bakar sekam padi dilengkapi blower dengan variasi kecepatan udara 2,82 m/s, 2,31 m/s dan 1,90 m/s. Hasil dari penelitian menunjukkan kecepatan udara optimum terjadi pada kecepatan udara 2,31 m/s dengan temperatur tungku 281,68°C, nyala efektif selama 45 menit, dan lama pendidihan 21 menit.

Wiyana, R.A (2012) melakukan penelitian tungku pembakaran *berair heater* pipa parallel dengan variasi kecepatan udara dari kecepatan 13 m/s, 15 m/s dan 17 m/s terhadap efisiensi tungku pembakaran. Dengan hasil penelitian diketahui pada kecepatan udara 13 m/s menghasilkan uap air sebesar 2,1 kg dan efisiensi tungku pembakaran sebesar 75,81 %, kecepatan udara 15 m/s menghasilkan uap air 2,5 kg dan efisiensi tungku pembakaran sebesar 73,37 %, dan kecepatan udara 17 m/s menghasilkan uap air sebesar 3,1 kg dan efisiensi tungku pembakaran sebesar 68,76 %.

## LANDASAN TEORI

### Bahan Bakar

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis, terdiri dari belahan lemma dan palea yang saling bertautan, ungunnya ditemukan di areal penggilingan padi. Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam 20 - 30%, dedak 8 - 12 %, dan beras 50 - 63,5% dari bobot awal gabah.

Sekam memiliki kerapatan jenis 125 kg/m<sup>3</sup> dan ditinjau dari komposisi kimiawi, sekam mengandung karbon (zat arang) 1,33%, hydrogen 1,54%, oksigen 33,645, Silika (SiO<sub>2</sub>) 16,98% dan sulfur < 1 %. Kadar selulosa sekam yang cukup tinggi dapat memberikan pembakar-

an yang merata dan stabil, artinya sekam dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia dan sebagai sumber energi panas untuk keperluan manusia.

### Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam proses pembakaran diperlukan udara. Jumlah udara yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan metode yang diberikan dibawah ini.

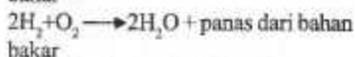
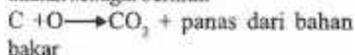
#### 1. Produk pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang disertai dengan timbulnya cahaya dan kalor atau panas. Oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi berasal dari udara bebas dengan komposisi oksigen 21% dan nitrogen 79%. Pembakaran berdasarkan gas sisa yang dihasilkan dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- Pembakaran sempurna, yaitu pembakaran dimana semua unsur yang terbakar membentuk gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), uap air (H<sub>2</sub>O) dan sulfur (SO<sub>2</sub>) sehingga tidak ada lagi bahan yang tersisa.
- Pembakaran tidak sempurna, yaitu pembakaran yang menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dimana salah satu penyebabnya adalah kekurangan jumlah oksigen.

#### 2. Reaksi Pembakaran

- Reaksi kimia dari proses pembakaran adalah sebagai berikut:



Bahan bakar + Jumlah udara  $\longrightarrow$  Karbondioksida + Uap air + Nitrogen dan gas-gas lainnya (kecuali oksigen)

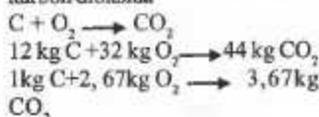
Beberapa hal yang terjadi pada proses pembakaran:

- Pembakaran dengan udara kurang pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena bahan bakar berlebih serta

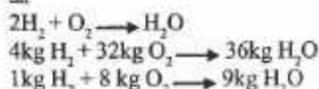
ada bahan bakar yang tidak terbakar di samping terdapat hasil pembakaran seperti,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , uap air,  $\text{O}_2$  dan  $\text{N}_2$ .

- Pembakaran dengan udara berlebih pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih serta terdapatnya hasil pembakaran, seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{N}_2$ .
  - Pembakaran dengan udara optimum pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum serta terdapatnya hasil pembakaran seperti,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$ .
- b. Reaksi dari unsur-unsur bahan bakar dalam proses pembakaran sempurna adalah :

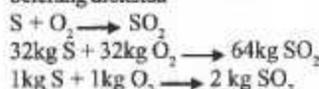
- Pembakaran karbon menjadi karbon dioksida



- Pembakaran hidrogen menjadi uap air



- Pembakaran belerang menjadi belerang dioksida



## Kalor

Kalor didefinisikan sebagai energi panas yang dimiliki oleh suatu zat. Dengan mengukur suhu benda tertentu maka dapat mendeteksi adanya kalor yang dimiliki oleh suatu benda. Jika suhunya tinggi maka kalor yang dikandung oleh benda sangat besar, begitu juga sebaliknya jika suhunya rendah maka kalor yang dikandung sedikit.

Dari hasil percobaan yang sering dilakukan besar kecilnya kalor yang dibutuhkan suatu benda (zat) bergantung pada 3 faktor sebagai berikut :

- massa zat
- kalor jenis zat
- perubahan suhu

Kalor pada suhu  $25^\circ\text{C}$  s/d  $100^\circ\text{C}$  dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

$Q$  = Kalor yang dibutuhkan ( kJ )

$m$  = massa air ( kg )

$c_p$  = kalor jenis air

$\Delta T = (t_2 - t_1)$  perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

Kalor ketika air mendidih dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = m_{\text{uap}} \cdot h_g$$

Dimana :

$Q$  = kalor yang dibutuhkan (kJ)

$m_{\text{uap}}$  = massa uap (kg)

$h_g$  = panas penguapan laten (kJ/kg)

$m_{\text{uap}}$  dapat diketahui dari volume air yang berubah menjadi uap pada ketel dengan persamaan sebagai berikut :

$$m_{\text{uap}} = m_a - m_b$$

Dimana :

$m_{\text{uap}}$  = volume air berubah menjadi uap (kg)

$m_a$  = volume air awal (kg)

$m_b$  = volume air akhir (kg)

Kalor selama proses pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_f = W_f \cdot (\text{LHV})$$

Keterangan :

$Q_f$  = Kalor yang dihasilkan ( kJ )

$W_f$  = Pemakaian bahan bakar ( kg )

LHV = Nilai kalor terendah ( kJ/kg )

Sehingga efisiensi tungku dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \cdot 100\%$$

## METODE PENELITIAN

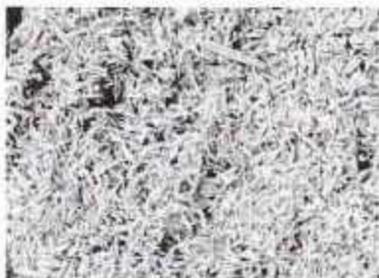
### Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Bahan Penelitian

#### 1. Sekam Padi



Gambar 2. Sekam Padi

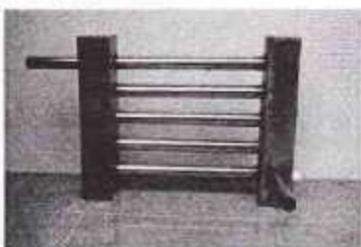
### Alat Penelitian

#### 1. Tungku Pembakaran



Gambar 3. Tungku Pembakaran

#### 2. Air Heater



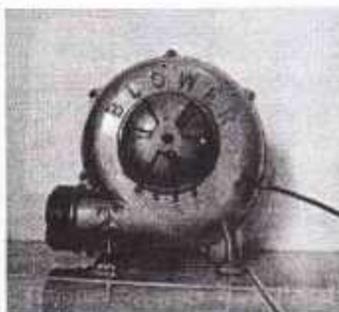
Gambar 4. Air Heater

#### 3. Bejana Air



Gambar 5. Bejana Air

4. Blower



**Gambar 6. Blower**

5. Thermokopel Reader



**Gambar 7. Thermokopel Reader**

6. Anemometer Digital



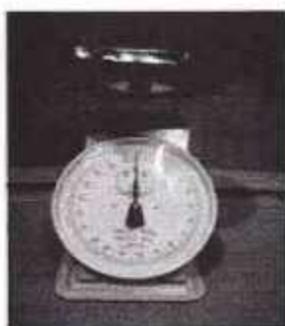
**Gambar 8. Anemometer Digital**

7. Stopwatch



**Gambar 9. Stopwatch**

8. Timbangan Manual



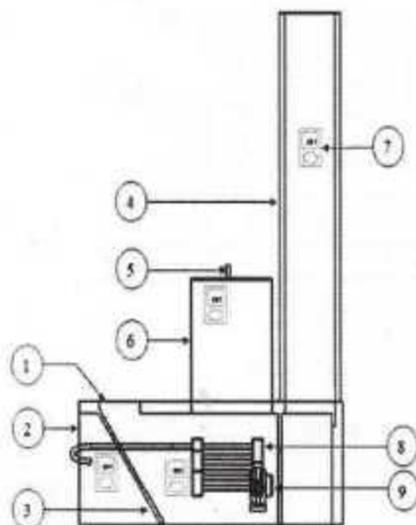
**Gambar 10. Timbangan Manual**

9. Gelas Ukur



**Gambar 11. Gelas Ukur**

## Instalasi Pengujian



Gambar 12. Instalasi Pengujian

Keterangan gambar :

1. Pintu Atas Tungku
2. Pintu depan Tungku
3. Tangga Bahan Bakar
4. Cerobong Asap
5. Saluran Uap
6. Bejana
7. Thermokopel
8. Air Heater
9. Blower

## Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

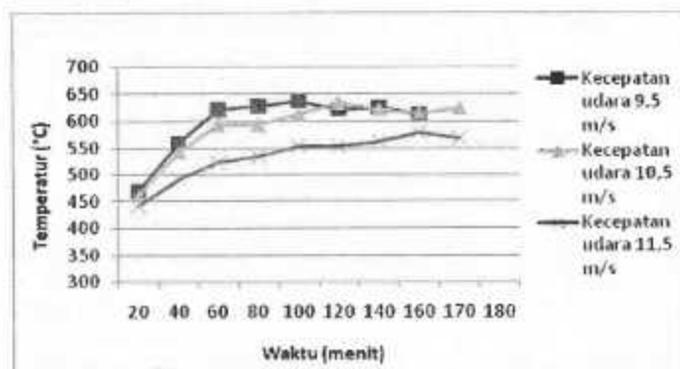
## Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian pada tungku pembakaran berair *heater* dan untuk memperoleh hasil yang maksimal maka dilakukan beberapa prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Mengisi air kedalam bejana air sebanyak 45 kg.
2. Mengisi ruang bakar dengan sekam padi sebanyak 4 kg.
3. Amati temperatur awal dari Air pada bejana, ruang bakar, cerobong gas buang dan *air heater* dengan termokopel reader kemudian catat hasilnya.
4. Membuat bara api dari campuran abu sekam padi dan solar dengan perbandingan komposisi 1 : 1, sebanyak 0,1 kg tiap percobaan lama pembuatan bara api menjadi stabil selama 20 menit setelah api menyala blower dinyalakan.
5. Memulai proses pendidihan air dan amati lama waktu proses pendidihan air dengan stopwatch.
6. Amati proses penguapan air selama 60 menit setelah air mendidih.
7. Memasukkan bahan bakar sekam padi saat volume bahan bakar pada tungku pembakaran mulai berkurang.
8. Amati temperatur ruang bakar, cerobong gas buang, air pada bejana dan *air heater* tiap 5 menit yang ditunjukkan oleh termokopel reader kemudian catat hasilnya.
9. Api dipadamkan setelah penelitian berakhir.
10. Amati volume air pada bejana setelah 30 menit setelah penelitian berakhir kemudian catat hasilnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Temperatur tungku

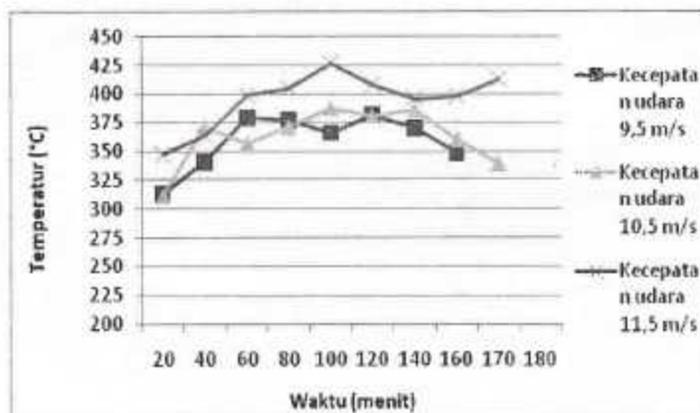


Gambar 13. Hubungan temperatur tungku terhadap waktu pembakaran

Dari gambar 13 dapat disimpulkan bahwa hubungan temperatur tungku terhadap waktu menunjukkan peningkatan temperatur tungku yang stabil, hal ini dipengaruhi oleh udara yang masuk dalam ruang bakar sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran dan kecepatan udara yang konstan.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa temperatur tertinggi pada kecepatan udara 9,5 m/s adalah 636°C, temperatur tertinggi pada kecepatan udara 10,5 m/s adalah 633°C dan temperatur tertinggi pada kecepatan udara 11,5 m/s adalah 579°C. Jadi temperatur tertinggi pada kecepatan 9,5 m/s.

### 2. Temperatur gas cerobong



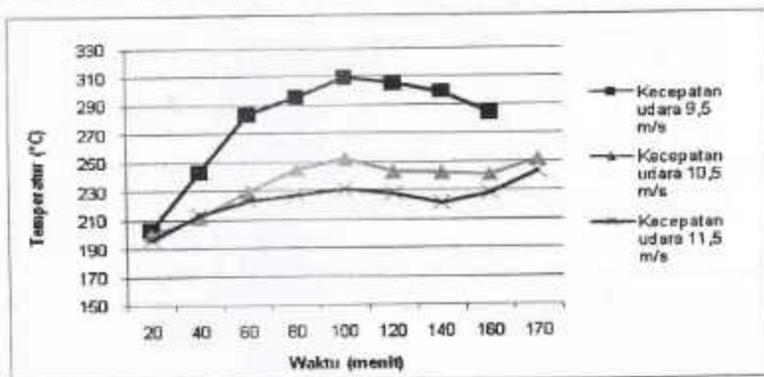
Gambar 14. Hubungan temperatur gas cerobong terhadap waktu pembakaran

Dari gambar 14 dapat disimpulkan bahwa hubungan temperatur gas cerobong terhadap waktu pembakaran diketahui bahwa temperatur gas cerobong mengalami ketidakstabilan, hal ini menunjukkan proses pembakaran dipengaruhi oleh jumlah udara (udara primer dan sekunder). Bila kekurangan udara menyebabkan bahan bakar tidak terbakar sempurna yang akan membentuk karbon monoksida (CO) pada gas buang. Bila udara kelebihan akan menyebabkan panas

yang dihasilkan dan efisiensi pembakaran berkurang.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa temperatur tertinggi pada kecepatan udara 9,5 m/s adalah 382°C, temperatur tertinggi pada kecepatan udara 10,5 m/s adalah 388°C dan temperatur tertinggi pada kecepatan udara 11,5 m/s adalah 427°C. Jadi temperatur tertinggi pada kecepatan 11,5 m/s.

### 3. Temperatur gas air heater

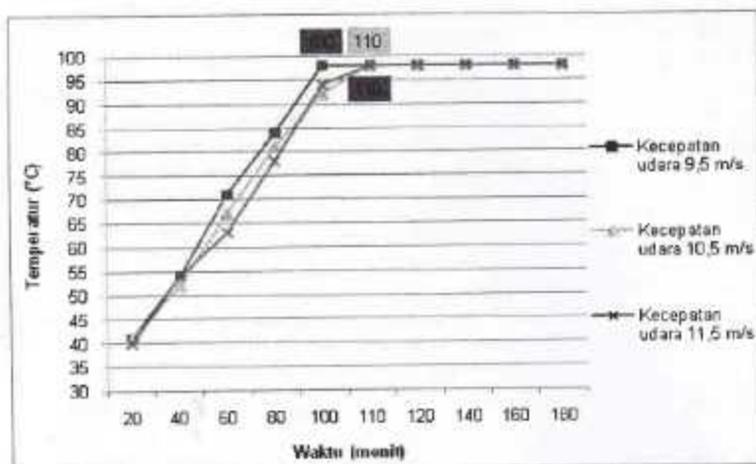


Gambar 15. Hubungan temperatur gas air heater terhadap waktu pembakaran

Dari gambar 15 dapat disimpulkan bahwa hubungan temperatur gas air heater terhadap waktu pembakaran menunjukkan peningkatan temperatur setiap menitnya pada air heater dengan masing-masing kecepatan udara, akan tetapi kenaikan temperatur udara juga dipengaruhi oleh kecepatan udara dimana semakin besar kecepatan udara dari blower maka kalor yang diserap oleh udara dalam air heater akan semakin kecil.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa temperatur tertinggi pada kecepatan udara 9,5 m/s adalah 309°C, temperatur tertinggi pada kecepatan udara 10,5 m/s adalah 252°C dan temperatur tertinggi pada kecepatan udara 11,5 m/s adalah 243°C. Jadi temperatur tertinggi pada kecepatan 9,5 m/s.

#### 4. Waktu pendidihan air



Gambar 16. Hubungan temperatur air terhadap waktu pembakaran

Dari gambar 16 dapat disimpulkan bahwa hubungan temperatur air terhadap waktu pembakaran menunjukkan adanya perbedaan waktu untuk mendidihkan air pada masing-masing percobaan. Pada percobaan dengan kecepatan udara *air heater* 9,5 m/s air mendidih pada menit 100 dengan temperatur 98°C, pada kecepatan udara 10,5 m/s dan 11,5 m/s air mendidih dengan waktu yang sama yaitu pada menit 110 dengan temperatur yang sama yaitu 98°C.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa air heater dengan kecepatan udara 9,5 m/s adalah yang terbaik dibandingkan dengan percobaan yang lainnya terhadap waktu pendidihan air. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara yang sesuai dengan kebutuhan udara saat proses pembakaran dan temperatur air heater yang dihembuskan lebih tinggi sehingga mempengaruhi temperatur ruang bakar tungku semakin tinggi sehingga waktu pendidihan air semakin cepat.

#### Efisiensi Tungku

##### 1. Pengujian untuk Mendidihkan Air

Waktu dan bahan bakar yang digunakan untuk mendidihkan air 45 kg dapat diketahui dari tabel berikut:

Tabel 1. Uji pendidihan air

Kecepatan udara (m/s)	Waktu (menit)	Bahan bakar (kg)
9,5	100	16
10,5	110	17
11,5	110	19,5

2. Pengujian untuk merubah air menjadi uap  
Waktu dan bahan bakar yang digunakan untuk merubah air menjadi uap dapat diketahui dari tabel berikut :

Tabel 2. Pengujian merubah air menjadi uap

Kecepatan udara (m/s)	Waktu (menit)	Bahan bakar (kg)	uap air (kg)
9,5	60	9,8	4,53
10,5	60	9,5	4,25
11,5	60	10,5	4

## Efisiensi Thermal pada Tungku

### 1. Kalor pendidihan air

Kalor yang diperlukan untuk mendidihkan 45 kg air pada pengujian pendidihan air, diketahui dari tabel berikut :

Tabel 3. Kalor pandidihan air

Kecepatan udara (m/s)	Cp (kJ/kg°C)	ΔT (°C)	Kalor (kJ)
9,5	4,180	71	13355,1
10,5	4,180	71	13355,1
11,5	4,180	71	13355,1

### 2. Kalor untuk merubah air menjadi uap

Kalor yang diperlukan untuk merubah air menjadi uap pada pengujian penguapan air, diketahui dari tabel berikut :

Table 4. Kalor merubah air menjadi uap

Kecepatan udara (m/s)	M <sub>uap</sub> (kg)	h <sub>g</sub> (kJ/kg)	Kalor (kJ)
9,5	4,53	2261,7	10245,5
10,5	4,25	2261,7	9612,22
11,5	4	2261,7	9046,8

### 3. Efisien thermal tungku

Efisiensi thermal tungku diperoleh dari hasil pengujian, dicari dengan persamaan berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{kalor yang terpakai}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \cdot 100 \%$$

Tabel 5. Efisiensi thermal tungku

Kecepatan udara (m/s)	Kalor terpakai (kJ)	Kalor yang dihasilkan BB (kJ)	η <sub>th</sub> (%)
9,5	23600,6	36507	64,65
10,5	22967,32	37497,5	61,25
11,5	22401,9	42460	52,77

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa data pengujian tungku pembakaran dengan penambahan *air heater* dengan 3 variasi kecepatan udara, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur tungku berbanding terbalik terhadap kecepatan udara *air heater*, dimana kecepatan udara semakin tinggi temperatur tungku semakin rendah.
2. Temperatur gas cerobong berbanding lurus terhadap kecepatan udara *air heater*, dimana semakin tinggi kecepatan udara semakin tinggi juga temperatur gas cerobong.
3. Waktu pendidihan air berbanding lurus terhadap kecepatan udara *air heater*, dimana semakin tinggi kecepatan udara semakin lama waktu pendidihan air.
4. Efisiensi thermal tungku tertinggi diketahui pada tungku pembakaran menggunakan *air heater* pada kecepatan udara 9,5 m/s.

## DAFTAR PUSTAKA

- Luthfi, Musthofa. 2010. *Perancangan Tungku Bio Massa Bahan Bakar Sampah Kering Dan Sekam Padi*. Tugas akhir S1. Bandung: Teknik Mesin ITB. Diakses tanggal 21 januari 2013 jam 22.00 wib.
- Nurtian, Irvan. 2007. *Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Sistem Kontinyu*. Tugas akhir S1. Bandung: Teknik Mesin ITB. Diakses tanggal 21 januari 2013 jam 22.40 wib.

- Prastiyo, Dwi. 2012. *Pengaruh Kecepatan Udara Pada Tungku Gravisifikasi Sekam Padi Terhadap Temperatur Pembakaran*. tugas akhir S1. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Setiawan, D. Irzaman, Demijati, Siswadi. 2010. *Kajian Hasil Pembuatan Tiga Macam Ukuran Lubang Berbentuk Persegi Panjang Pada Tubuh Tungku Sekam*. Berkala Fisika Vol 13. N0. 2, Edisi Khusus April 2010. hal C1-C4, Bogor : Fakultas MIPA IPB. Diakses 20 Januari 2013 pukul 21.25.
- Soedarna, Achmad Amir. 1995. *Fisika Untuk Universitas*. Bandung: Bina Cipta.
- Wiyana, R.A. 2012. *Inovasi Teknologi Tungku Pembakaran Dengan Air Heaters Pipa Pararel*. Tugas Akhir. Surakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- <http://sungsandryerkorea.blogspot.com/2011/07/tungku-sekam-padi-full-indirect-heat.html> Diakses 20 Januari 2013 pukul 23.10.
- <http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jiptumm-gdl-s1-2002-yuda-5713-heater> . Diakses 22 Januari 2013 pukul 18.50.