

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian sebelumnya

Penelitian ini adalah penelitian yang berkelanjutan dari pada penelitian sebelumnya yaitu dengan tema pengaruh jarak selubung dengan panci terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas, Ashari (2014) penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jarak yang tepat untuk mengetahui efisiensi pemanasan yang lebih baik, dengan variasi jarak yaitu 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 mm. Selubung yang digunakan menggunakan bahan keramik. Penelitian ini menerangkan bahwa jarak antara selubung dengan bejana yang memiliki efisiensi paling tinggi yaitu dengan jarak 4mm yaitu sebesar 46,36 %.

Widodo (2014) melakukan penelitian tentang Selubung Radiasi Untuk Efisiensi Penggunaan Energi Pada Kompor Gas didapatkan hasil bahwa material selubung sangat mempengaruhi efisiensi kompor gas konvensional.

Gohill (2011) melakukan penelitian Tentang *Experimental Investigation Of Performance Of Conventional Lpg Cooking Stove* didapatkan hasil bahwa dengan melakukan penambahan material selubung dan optimasi proses pembakaran dapat meningkatkan efisiensi termal kompor gas konvensional.

Widiandra (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh material selubung sebagai isolator terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas. Dimana material tersebut digunakan sebagai selubung yang terbuat dari besi, keramik dan aluminium. Efisiensi terbaik dalam pengujian pemanasan dengan menggunakan selubung keramik yaitu sebesar 46,36% karena pemanasan menggunakan keramik merupakan pemanasan paling cepat untuk memanaskan air 1 liter dibandingkan dengan material yang lainnya dengan waktu 521 detik.

Pada penelitian ini juga menggunakan selubung dengan material berbahan keramik dan berjarak 3, 4, 5, 6, 7, 8 mm antara selubung dengan bejana yang didasari pada penelitian sebelumnya ( Ashari 2014, widodo 2014, gohill 2011 dan widiandra 2014). Yang membedakan pada penelitian ini yaitu dengan menambahkan variasi masa alir bahan bakar yaitu 0.75 ; 1 ; 1.25 ; 1.5 ; 1.75 dan 2.0 L/menit.

## 2.2 Energi Panas

Energi panas adalah energi yang tidak bisa terlepas dari seluruh perubahan energi yang terjadi dalam seluruh energi. Secara umum dibagi menjadi dua yaitu (kalor sensibel) adalah panas yang digunakan untuk menaikkan suhu dan (kalor laten) adalah panas yang digunakan untuk merubah wujud atau fase. Dimana dalam hal ini, energi panas adalah energi yang dimiliki suatu sistem, yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem yang lain sebagai akibat adanya perbedaan temperatur, yaitu dari temperatur tinggi ke temperatur rendah (Cengel, 2003:2). Perpindahan panas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

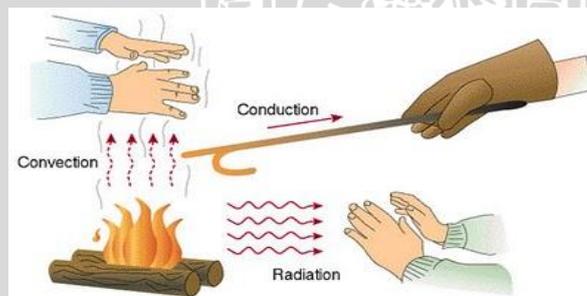
Besarnya energi pada sistem tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (\text{Cengel, 2003:13}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

$\dot{Q}$	=	Energi kalor	(W)
$\dot{m}$	=	Laju aliran massa fluida	(kg/s)
$C_p$	=	Kalor spesifik pada tekanan konstan	(J/kg.°C)
$\Delta T$	=	Perubahan temperatur	(°C)

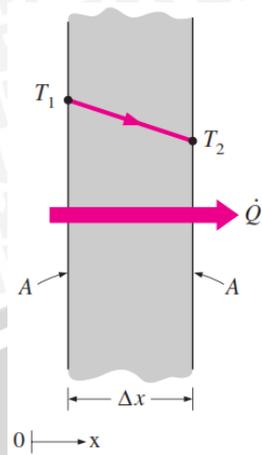
Panas yang ditransfer dari suatu sistem ke sistem yang lain terjadi melalui tiga metode yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.



Gambar 2.1 Ilustrasi proses perpindahan panas  
Sumber: Narilisia (2013)

### 2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi didefinisikan sebagai suatu perpindahan panas baik yang terjadi pada benda padat, benda cair maupun gas, dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke suhu yang lebih rendah dalam satu atau beberapa medium yang bersinggungan secara langsung.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi  
 Sumber: Cengel (2003:18)

Dibawah ini adalah rumus perpindahan panas secara konduksi :

$$Q_{\text{konduksi}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Cengel, 2003:18}) \quad (2-2)$$

Keterangan :

- $Q_{\text{konduksi}}$  = Laju perpindahan kalor konduksi (W)
- $k$  = Konduktivitas termal bahan (W/m<sup>2</sup>°C)
- $A$  = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- $T_1 - T_2$  = Perbedaan temperatur (°C)
- $\Delta x$  = Ketebalan permukaan pada arah x (m)

### 2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan benda cair maupun gas yang bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah dan melibatkan juga perpindahan panas secara konduksi serta dipengaruhi oleh pergerakan dari fluida itu sendiri.

Secara umum, perpindahan kalor konveksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

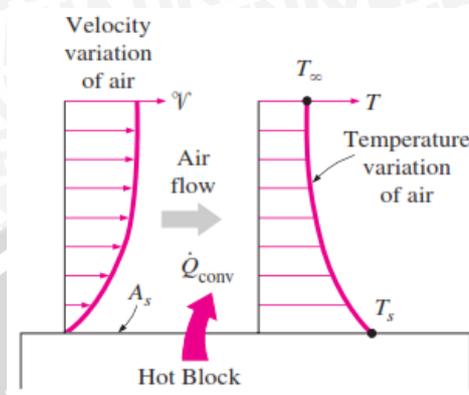
#### 1. Konveksi Bebas

Adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi karena perbedaan kerapatan fluida. Proses ini disebut juga konveksi alamiah.

#### 2. Konveksi Paksa

Adalah konveksi yang terkena gaya atau energi dari luar sehingga dapat mentransfer panasnya, misalnya dibantu oleh alat pendukung yang memiliki energy

tekanan yang besar seperti berupa pompa maupun kompresor. Karena ada alat pendukung ini maka perpindahan panasnya pun yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas.



Gambar 2.3 Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan  
Sumber:Cengel (2003:26)

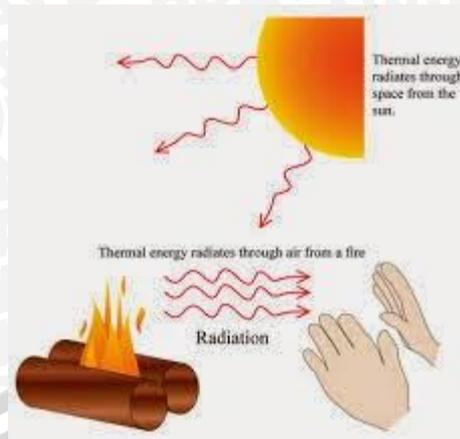
$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Cengel, 2003:26}) \quad (2-3)$$

Keterangan :

- $\dot{Q}_{\text{conv}}$  = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)
- $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ )
- $A$  = Luas permukaan perpindahan kalor ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = Temperatur permukaan benda ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_{\infty}$  = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang berupa pancaran energi terus menerus dari suatu benda ke benda lainnya. Energi ini disebut juga energi radian dan berbentuk seperti gelombang elektromagnetik. Gelombang ini dapat bergerak dengan kecepatan cahaya dan dapat melewati ruang hampa maupun juga udara (namun jika gelombang ini berpindah melalui udara atau benda yang tak dapat dilaluinya maka energi tersebut akan terserap oleh penghalang tersebut).



Gambar 2.4 Perpindahan kalor secara radiasi  
 Sumber :Indrawan (2015)

Dibawah ini adalah rumus dari radiasi :

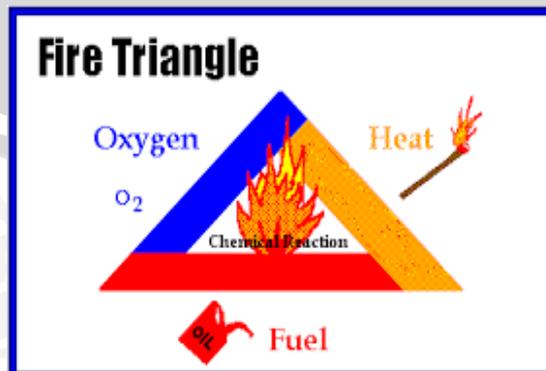
$$Q_{radiasi} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{Cengel, 2003:28}) \quad (2-4)$$

Keterangan :

- $Q_{radiasi}$  = Laju perpindahan panas radiasi (Watt)
- $\epsilon$  = Emisivitas;  $0 \leq \epsilon \leq 1$
- $\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman;  $(5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$
- $A_s$  = Luas permukaan perpindahan kalor ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = Temperatur absolut ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.3 Pembakaran

Yang menyebabkan dapat terjadinya suatu proses pembakaran yaitu karena adanya reaksi oksidasi antara bahan bakar dan udara (oksigen) dengan tambahan energi aktivator sebagai pemantik reaksinya dan berakibat timbulnya cahaya dan menghasilkan panas (Turns, 1996).

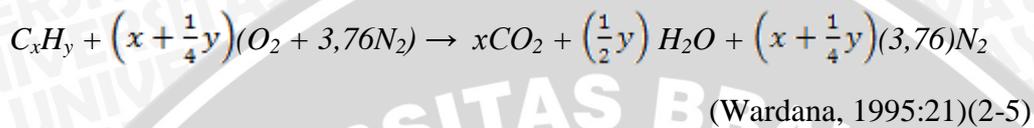


Gambar 2.5 Konsep pembakaran  
 Sumber: Edu (2012)



Pembakaran sangat bergantung pada kondisi bahan bakar, udara dan temperatur pembakarannya yang terjadi dalam proses pemanasan. Pembakaran dapat dikatakan sempurna jika pembakaran tersebut dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna dari reaksi yang dilakukan. Dan salah satu cara untuk menciptakan terjadinya pembakaran yang sempurna adalah dengan menggunakan udara lebih (*excess air*), yaitu udara yang diberikan pada proses pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah bahan bakar teoritisnya.

Dibawah ini adalah reaksi pembakaran:



## 2.4 Bahan Bakar

Dalam penelitian ini digunakan bahan bakar yang berbentuk gas, hal ini dilakukan untuk menggantikan bahan bakar minyak yang telah mengalami penurunan kuantitas terhadap ketersediaannya di alam. Dalam hal ini bahan bakar gas tersebut berbentuk dalam jenis *Liquid Petroleum Gas* (LPG).

LPG sendiri diproduksi dan dipasarkan langsung di Indonesia oleh PT. Pertamina, LPG memiliki tiga spesifikasi, yaitu :

### 1. LPG Campuran

Bahan bakar gas LPG yang digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan komersial. Terdiri dari 50% volume propana dan 50% volume butana serta ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

### 2. LPG Propana

Bahan bakar gas LPG yang digunakan untuk kebutuhan khusus yaitu terdiri dari 95% propana dan ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

### 3. LPG Butana

Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan industri yaitu bahan bakar LPG butana. Terdiri 97,5% butana dan ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

## 2.5 Kesetimbangan Energi Pada Sistem Pemanasan

### 1. Energi Pembakaran

Adalah energi yang dibutuhkan suatu sistem dalam waktu tertentu untuk mencapai suhu yang diinginkan dalam proses pemanasan. Dalam hal ini energi pembakaran adalah energi yang dikeluarkan oleh gas LPG untuk memanaskan objek penelitian.

$$\text{Energi pembakaran} = \dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG} \quad (\text{Wardani, 2007:9}) \quad (2-6)$$

Keterangan :

$$\dot{m}_{gas} = \text{massa alir gas} \quad (\text{l/s})$$

$$t = \text{waktu pemanasan} \quad (\text{s})$$

$$LHV_{LPG} = \text{nilai terendah terbakaranya gas} \quad (\text{kJ/kg})$$

### 2. Energi Serap

Adalah energi yang diserap oleh air pada saat proses pemanasan.

$$\text{En. serap} = m_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \times (T_2 - T_1) \quad (\text{Wardani, 2007:9}) \quad (2-7)$$

Keterangan :

$$m_{H_2O} = \text{massa air} \quad (\text{liter})$$

$$Cp_{H_2O} = \text{berat jenis air} \quad (\text{kJ/kg } ^\circ\text{K})$$

$$\Delta T = \text{perbedaan temperatur} \quad (^\circ\text{C})$$

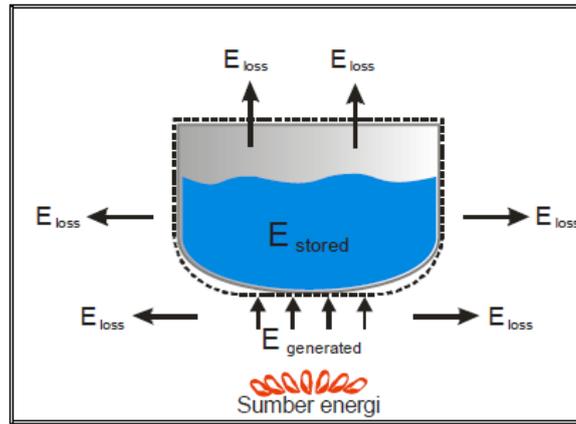
### 3. Energi Total yang Hilang

Adalah energi yang hilang secara keseluruhan ke lingkungan dan terserap oleh selubung radiasi.

$$\text{Energi Total Hilang} = \text{EnergiPembakaran} - \text{EnergiSerap} - \text{EnergiRadiasi} \quad (\text{Wardani, 2007:7}) \quad (2-8)$$

### 4. Efisiensi Sistem Pemanasan

Untuk dapat memahami apa yang terjadi pada proses memanaskan air, maka hal yang pertama yang dilakukan adalah menentukan sistem.



Gambar 2.6 Model sistem  
Sumber: Wardani, (2007:6)

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa sumber energi yang masuk ke dalam sistem berasal dari api kompor. Energi tersimpan di air dalam bentuk kenaikan temperatur air, begitu pula energi yang tersimpan di bejana dalam bentuk kenaikan temperatur bejana. Namun karena massa bejana relatif kecil di banding massa air dan kapasitas panas jenis spesifik bejana yang berbahan aluminium relatif rendah dibanding kapasitas panas jenis spesifik air, maka energi yang diserap oleh bejana dapat diabaikan dalam perhitungan. Energi yang terbuang ke lingkungan baik dari air, bejana, maupun energi dari api yang belum sempat berpindah ke air maupun bejana.

Ada dua bentuk sistem termodinamika yaitu sistem tertutup atau sistem massa atur, dan sistem terbuka atau sistem volume atur. Pada sistem massa atur, energi melewati batas sistem sedangkan massa tidak melewati batas sistem. Energi yang berpindah dalam bentuk panas atau kerja. Energi dapat berpindah masuk ke dalam sistem maupun berpindah keluar sistem. Pada sistem volume atur, selain energi, massa juga melewati batas sistem. Dengan adanya massa yang melewati batas sistem, energi juga turut mengalir melewati batas sistem yaitu energi aliran.

Pada sistem memanaskan air, tidak ada massa yang melewati batas sistem sehingga sistem dapat dianggap sistem tertutup atau massa atur. Permasalahan termodinamika sistem tertutup cukup diselesaikan dengan melakukan neraca energi. Pada proses memanaskan air, neraca energi ditinjau pada keadaan belum memanaskan air terhadap keadaan sesudah memanaskan air.

Neraca energi untuk sistem tertutup adalah :

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W \quad (2-9)$$

dimana:

$\Delta EK$  adalah perubahan energi kinetik

$\Delta EP$  adalah perubahan energi potensial

$\Delta U$  adalah perubahan energi dalam

$Q$  adalah energi yang melewati batas sistem dalam bentuk panas

$W$  adalah energi yang melewati batas sistem dalam bentuk kerja

Dalam persamaan 2.7 notasi  $W$  dapat dihilangkan karena pada sistem tidak ada kerja masuk maupun keluar. Dengan mengabaikan perubahan energi kinetik maupun energi potensial, maka persamaan 2.7 dapat disederhanakan menjadi:

$$\Delta U = Q \quad (2-10)$$

Energi panas  $Q$  adalah energi masuk  $E_{gas}$  dan energi keluar  $E_{loss}$ .  $\Delta U$  adalah perubahan energi dalam yang ditandai dengan naiknya temperatur air. Asumsi zat inkompresibel biasanya berlaku untuk sistem yang berupa benda cair atau benda padat. Sifat termodinamika benda cair dan benda padat hanya berubah sedikit terhadap perbedaan tekanan. Dengan demikian, perubahan sifat termodinamika benda cair dan benda padat akibat perubahan tekanan dapat diabaikan terhadap perubahan sifat termodinamika akibat perubahan temperatur. Asumsi zat inkompresibel seringkali juga menyatakan bahwa volume spesifik tidak berubah dan energi dalam hanya bergantung pada temperatur. Istilah kapasitas panas jenis spesifik diperkenalkan untuk memudahkan perhitungan pada model zat inkompresibel maupun model gas ideal (Moran : 2000). Kapasitas panas jenis spesifik didefinisikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$C_v(T) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v \quad (2-11)$$

$$C_p(T) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_p \quad (2-12)$$

Huruf  $v$  dan  $p$  menandakan bahwa penurunan dilakukan dengan menganggap  $v$  atau  $p$  sebagai sebuah konstanta. Khusus untuk zat inkompresibel, karena ada asumsi volume spesifik konstan, maka turunan entalpi terhadap temperatur dengan menganggap  $p$  konstanta akan menjadi  $du/dT$ . Dengan demikian, pada zat inkompresibel tidak ada perbedaan nilai antara  $C_p$  maupun  $C_v$ , atau  $C_p = C_v = c$ . Air adalah zat inkompresibel, sehingga  $\Delta U$  dapat didekati dengan  $m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1)$ . Setelah mengidentifikasi variabel  $\Delta U$  dan  $Q$ , persamaan (2-8) berubah menjadi:

$$m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1) = E_{gas} - E_{loss} \quad (2-13)$$

Egas adalah massa gas yang digunakan dikali LHV gas tersebut:

$$E_{gas} = m_{gas} \times LHV \quad (2-14)$$

Dengan menukarkan sisi kiri pada persamaan (2-11) dengan  $E_{loss}$  yang ada di sisi kanan serta mensubstitusikan  $E_{gas}$  dengan persamaan (2-12), maka persamaan (2-11) menjadi:

$$E_{loss} = m_{gas} \times LHV - m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1) \quad (2-15)$$

Kapasitas panas jenis spesifik untuk air adalah 4,2 kJ/kg.K. LHV untuk butana ( $C_4H_{10}$ ) adalah 45720 kJ/kg.

Dari rumus efisiensi pada umumnya  $\frac{Output}{Input} \times 100 \%$ , jika di konversikan ke sistem pemanasan pada kompor gas, maka *output* nya adalah energi serap (*Eserap*) yang diterima oleh objek yang di panaskan dan *input* nya adalah energi pembakaran (*Epembakaran*) yang dikeluarkan oleh *burner*. Untuk *Eserap* terdiri dari massa, panas spesifik (*Cp*), dan perbedaan temperatur awal dan akhir ( $\Delta T$ ) dari objek yang di panaskan. Sedangkan untuk *Epembakaran* terdiri dari massa alir bahan bakar ( $\dot{m}$ ), waktu pemanasan (*t*), dan *Low Heating Value (LHV)* bahan bakar atau panas pembakaran pada kondisi dimana air dalam produk berbentuk uap. Sehingga, efisiensi sistem pemanasan

$$\eta = \frac{E_{serap}}{E_{pembakaran}} \times 100 \% \text{ atau } = \frac{\text{massa air} \times C_{p_{air}} \times \Delta T}{\dot{m} \times t \times LHV_{LPG}} \times 100 \% . \quad (2-16)$$

## 2.6 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal merupakan perbandingan antara banyak energi yang diserap air terhadap banyaknya energi bahan bakar yang digunakan

$$\eta = \frac{ma \cdot Cp \Delta T}{\dot{m}_{lpg} t LHV_{lpg}} \quad (2-17)$$

5. Adalah perbandingan banyaknya energi yang diserap oleh air terhadap banyaknya energi yang digunakan oleh bahan bakar dalam proses sistem pemanasan.

$$\eta = \frac{Energi \ serap}{Energi \ pembakaran} \times 100 \% \quad (\text{Wardani,2007:10}) \quad (2-18)$$

## 2.7 Hipotesa

Semakin banyak bahan bakar yang digunakan maka untuk mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi dibutuhkan jarak selubung dengan bejana yang lebih besar juga, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan api yang lebih tinggi dibutuhkan massa alir bahan bakar yang lebih besar juga agar kita bisa mendapatkan jarak yang paling efisien antara api dengan bejana.



