

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Wardani (2007) melakukan penelitian untuk penghematan bahan bakar gas dengan cara mengarahkan gas panas hasil pembakaran ke dinding panci yang berisi 1 liter air sehingga panci lebih banyak menyerap panas yang selanjutnya panas dari panci diserap oleh air. Dalam penelitian ini Dendi memakai teknik memanfaatkan sebuah alat yang dapat mengumpulkan gas hasil pembakaran secara maksimal. Dengan penambahan selubung di sekitar panci, panas hasil pembakaran tidak menyebar melainkan dapat terfokus. Dari penambahan selubung tersebut dapat mempercepat proses pemanasan air karena tidak banyak panas yang terbuang atau teradiasi ke lingkungan.

Widiandra (2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh material selubung yang baik digunakan sebagai isolator terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah material selubung dengan bahan aluminium, besi dan keramik. Variabel terikat atau yang diamati dalam penelitian adalah energi yang diserap oleh air, energi panas hasil pembakaran, efisiensi, dan efektivitas material selubung. Sedangkan variabel terkontrolnya yang dihipotesiskan tetap adalah massa alir gas $2,625 \times 10^{-5}$ kg/s, banyaknya air yang dipanaskan sebanyak 1 liter, LPG 3kg dengan komposisi *propane* 50% + *butane* 50% dan jarak selubung dengan panci 4 mm. Efisiensi tertinggi diperoleh dari pengujian adalah selubung dengan bahan keramik yaitu sebesar 46,36%.

Ashari (2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh jarak selubung dengan panci terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas dengan tujuan untuk mengetahui jarak yang paling efektif agar efisiensi sistem pemanasan lebih maksimal dibandingkan kompor biasa. Variasi jarak selubung yang digunakan adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 mm. Selubung yang digunakan menggunakan bahan keramik. Data yang diamati atau variabel terikatnya adalah efisiensi, waktu, dan distribusi energi panas. Hasil dari penelitian tersebut adalah jarak panci dan selubung 4 mm memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 46,36 % dibandingkan kompor biasa yang hanya 10 %.

Zulkarnaen (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh *perforated burner* terhadap karakteristik nyala api pada pembakaran *premixed*. Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah *perforated burner* dengan 7 lubang yang dibandingkan dengan

bunsen burner untuk mengamati perbedaan karakteristik nyala api (tinggi api, temperatur, serta kecepatan pembakaran laminer) dengan cara rasio ekuivalen dari masing-masing *burner* divariasikan. Dari penelitian di dapatkan penggunaan *perforated burner* mempengaruhi nilai api serta temperatur api yang lebih tinggi dibandingkan *bunsen burner*. Akan tetapi untuk nilai tinggi api, *perforated burner* berbanding lurus dengan nilai rasio ekuivalen semakin tinggi nilai rasio ekuivalen maka tinggi api juga semakin tinggi. Selain itu stabilitas *perforated burner* lebih baik dengan rasio ekuivalen 0,66 api baru bisa padam sedangkan *bunsen burner* terjadi pada ekuivalen 0,99.

Al-Hasan (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi material dari *perforated burner*. Dari penelitiannya di dapat bahwa material aluminium memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan material kuningan maupun besi. Hal itu disebabkan karena konduktivitas dari besi dan kuningan yang berada di bawah aluminium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi menggunakan material aluminium sebesar 47,816 % dan waktu yang dibutuhkan 477 detik untuk memanaskan hingga mendidih.

Abdillah (2015) juga melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter dalam *burner* terhadap karakteristik pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak dan etanol. Dalam penelitiannya digunakan variasi diameter lubang antara lain 0,5 mm ; 0,8 mm ; dan 1 mm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil diameter lubang dari *burner* maka luas permukaan perpindahan kalornya lebih kecil sehingga kecepatan bahan bakar menjadi lebih tinggi yang menyebabkan ketika bahan bakar berada di dalam *burner* proses perpindahan panasnya menjadi lebih pendek. Oleh karena itu bahan bakar yang menguap lebih sedikit, sehingga bahan bakar yang keluar dari *burner* lebih banyak berbentuk cair. Hal tersebut mengakibatkan timbul banyak ledakan sehingga efisiensi tertinggi dari diameter yang lebih besar.

2.2 Energi Panas

Energi kalor merupakan suatu bentuk energi yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem yang lain akibat adanya perbedaan temperatur (Cengel, 2003:2). Pada fluida yang memiliki aliran *steady* dalam suatu saluran masuk dan saluran keluar memiliki laju aliran massa yang masuk sama dengan laju aliran massa yang keluar atau $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$, perubahan senergi yang terdapat pada sistem akan sama jika fluida tidak melakukan kerja. Besarnya laju energi panas dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-1

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

Dengan:

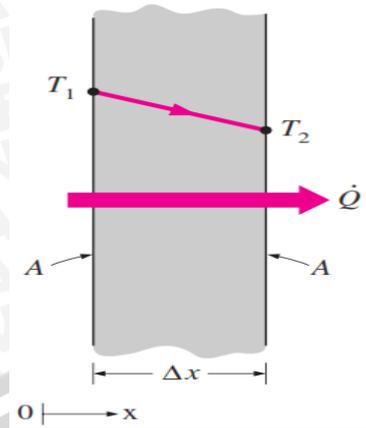
Q	=	Laju energi kalor	(W)
\dot{m}	=	Laju aliran massa fluida	(kg/s)
C_p	=	Kalor spesifik pada tekanan konstan	(J/kg.°C)
ΔT	=	Perubahan temperatur	(°C)

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi dari suatu sistem ke sistem lainnya akibat perbedaan temperatur, transfer energi ini biasa terjadi apabila ada perbedaan temperatur dan transfer energi berpindah dari sistem yang bertemperatur tinggi menuju sistem yang bertemperatur rendah, akan tetapi perpindahan panas akan berlangsung sampai kondisi di mana temperatur menjadi sama atau tidak adanya perbedaan temperatur. Jika kedua sistem temperaturnya sama maka tidak akan terjadi perpindahan panas pada kedua sistem tersebut. Perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi maupun radiasi.

2.3.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi antara medium satu ke medium lainnya yang bersinggungan secara langsung tanpa disertai perpindahan molekulnya. Perpindahan kalor konduksi pada fluida cair terjadi akibat adanya tumbukan dan difusi antara molekul yang bergerak secara acak, sedangkan pada benda padat perpindahan panas terjadi karena kombinasi dari getaran molekul serta perpindahan energi oleh elektron bebas di mana saat dipanaskan yang awalnya atom dan electron diam menjadi bergerak lebih cepat sehingga mengalami tumbukan dari interaksi antara atom dan partikel tersebut yang menyebabkan transfer energi dari atom satu ke atom lainnya sehingga kalor merambat secara atomik perpindahan panas secara konduksi dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi
 Sumber: Cengel (2003:18)

Laju perpindahan kalor konduksi dikemukakan oleh J. Fourier pada tahun 1822 yaitu besarnya laju perpindahan kalor konduksi yang berbanding terbalik dengan ketebalan namun sebanding dengan luas permukaan dan perubahan temperatur yang dinyatakan dalam Persamaan 2-2 :

$$\text{Laju konduksi} = \frac{(\text{Luas})(\text{gradient temperature})}{\text{Ketebalan}}$$

Atau,

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

Dengan:

- Q_{konduksi} = Laju perpindahan kalor konduksi (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m°C)
- A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)
- $T_1 - T_2$ = Perbedaan temperatur (°C)
- Δx = Ketebalan permukaan pada arah x (m)

2.3.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan perpindahan panas yang disertai oleh perpindahan molekulnya. Laju dari perpindahan kalor konveksi tersebut dipengaruhi oleh semakin cepatnya gerakan fluida. Jika fluida bergerak semakin cepat maka laju perpindahan kalor konveksinya juga semakin cepat. Perpindahan panas konveksi melalui beberapa tahap yaitu pertama perpindahan kalor secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel lapisan fluida berbatasan, kemudian energi ini akan terbawa menjauh permukaan benda padat melalui proses konveksi, dimana terjadi dua gabungan



antara konduksi di dalam fluida akibat gerakan partikel yang tidak beraturan yang energinya rendah, serta adanya gerakan fluida yang makroskopis yang menggantikan fluida yang sudah panas. Perpindahan massa dan panas pada konveksi terjadi melalui adveksi dan difusi. Konveksi sebenarnya mirip dengan Induksi, hanya saja jika Induksi adalah perpindahan kalor tanpa disertai zat perantara sedangkan konveksi merupakan perpindahan kalor yang di ikuti zat perantara

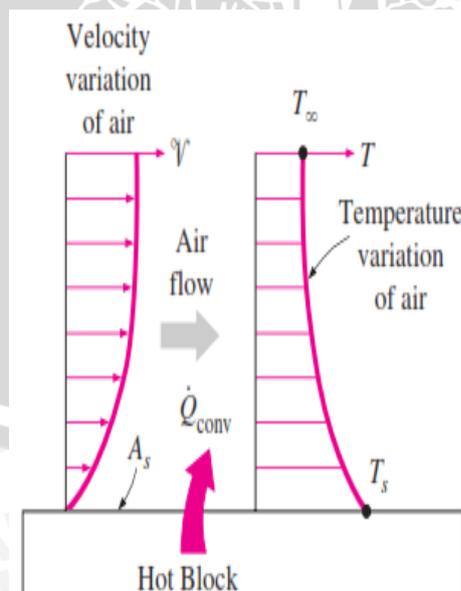
Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan panas yang melibatkan perpindahan massa dari fluida tersebut. Jika tidak ada pergerakan dari fluida maka perpindahan panas yang terjadi hanyalah perpindahan panas secara konduksi. Karena konveksi harus disertai pergerakan fluida Perpindahan kalor konveksi secara umum dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Konveksi Bebas (*Free Convection*)

Konveksi bebas merupakan perpindahan yang terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida atau perbedaan gradient temperatur. Prosesnya biasanya terjadi secara alami tanpa ada perlakuan.

2. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

Pada konveksi paksa ini berbeda dengan konveksi bebas, konveksi paksa ini fluida dipaksa bergerak dengan adanya penambahan energi atau gaya lain.



Gambar 2.2 Perpindahan kalor konveksi
Sumber: Cengel (2003:26)

Konveksi paksa dapat dihitung dalam Persamaan 2-3 :

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

Dengan:

\dot{Q}_{conv} = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

T_s = Temperatur permukaan benda ($^{\circ}\text{C}$)

T_{∞} = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan ($^{\circ}\text{C}$)

2.3.3 Radiasi

Istilah radiasi merupakan pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik/cahaya. Gelombang ini dapat bergerak dapat melewati ruang hampa karena memiliki kecepatan secepat kecepatan cahaya, akan tetapi lebih baik dalam ruang hampa agar energi tidak berpindah ke udara. Radiasi juga dapat dikatakan proses terjadinya perpindahan panas tanpa menggunakan zat perantara. Kalor dapat di radiasikan melalui bentuk gelombang cahaya, gelombang radio dan gelombang elektromagnetik. Radiasi juga dapat dikatakan sebagai perpindahan kalor melalui media atau ruang yang akhirnya diserap oleh benda lain.

Laju perpindahan panas radiasi dapat dihitung dalam Persamaan 2-4 :

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

Dengan:

Q_{radiasi} = Laju perpindahan panas radiasi (Watt)

ε = Emisivitas; $0 \leq \varepsilon \leq 1$

σ = Konstanta Stefan-Boltzman; ($5.67 \times 10^8 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A_s = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

T_s = Temperatur absolut ($^{\circ}\text{C}$)

2.4 LPG (Liquified Petroleum Gas)

LPG merupakan gas hasil olahan dari minyak bumi dengan menaikkan tekanan dan menurunkan suhunya sehingga berubah fase dari gas ke cair. Sebagian besar kandungan dari LPG adalah *propane* dan *butane*.

Ada dua macam LPG yang umum yaitu yang pertama dalam bentuk *propane* komersial. Jenis ini memiliki kandungan yang terdiri atas 90% *propane* dan *propylene* sedangkan sisanya adalah *ethane*, *ethene*, *butane*, *butene*. Besar Tekanan uapnya pada suhu 50°C antara 11.5 sampai 19.3 *bar gauge*. Sedangkan titik uapnya adalah lebih kecil atau sama dengan 15°C. Kemudian untuk yang kedua adalah bentuk *butane* komersial. Pada jenis ini sebagian besar mengandung *butane* dan *butene*. Sedangkan untuk sisanya kurang dari 19% mengandung *propane* dan *propylene*. Tekanan uap jenisnya pada 50°C adalah $p \leq 6.9$ *bar gauge*. Temperatur penguapannya adalah kurang dari 1°C.

LPG yang umum diproduksi pada masyarakat Indonesia oleh PT. Pertamina adalah :

1. LPG Campuran

Bahan bakar gas LPG campuran merupakan bahan bakar yang sering digunakan dalam kebutuhan rumah tangga, industri dan komersial. LPG campuran memiliki kandungan propana dan butana. Terdiri dari 70% volume propana dan 30% volume butana serta ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat. Akan tetapi kandungan *propane* dan *butane* sekarang sama yaitu 50 %

2. LPG Propana

Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan khusus yaitu bahan bakar LPG propana. 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 Grid

Grid merupakan suatu benda yang digunakan untuk memfokuskan perpindahan panas dari api ke suatu media yang dipanaskan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan suatu fluida lebih efisien. Grid sendiri juga memiliki fungsi sebagai penyimpan panas. Berikut adalah contoh sebuah grid kompor.



Gambar 2.3 Grid
 Sumber: Arsip Pribadi

2.6 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal merupakan perbandingan antara banyak energi yang diserap air terhadap banyaknya energi bahan bakar yang digunakan. Semakin besar energi bahan bakar maka efisiensi thermalnya semakin kecil karena efisiensi thermal berbanding terbalik dengan energi bahan bakar. Akan tetapi energi serap berbanding lurus dengan efisiensi thermal, semakin besar energi serap maka dapat dikatakan efisien. Efisiensi thermal dapat dihitung dengan Persamaan 2-5 :

$$\eta = \frac{E_{\text{serap}}}{E_{\text{pembakaran}}}$$

$$\eta = \frac{m_{\text{air}} C_p \Delta T}{\dot{m}_{\text{lpg}} t LHV_{\text{lpg}}} \quad (\text{Wardani, 2007 :10}) \quad (2-5)$$

di mana,

- η = efisiensi thermal
- m_{air} = Massa air (kg)
- \dot{m}_{lpg} = Massa alir LPG (kg/s)
- C_p = Kalor spesifik (J/kg °C)
- t = waktu pemanasan (detik)
- ΔT = Perubahan Temperatur

Energi pembakaran merupakan banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk suatu proses pemanasan.

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



Keterangan:

E_{pem} =Enegi Pembakaran (kJ)

\dot{m}_{lpg} = massa alir bahan bakar (L/menit)

LHV_{LPG} = *Low Heating Value* (kg/kJ)

Energi serap yang diserap air dirumuskan seperti pada Persamaan 2-7 :

$$E_{\text{serap}} = m_{\text{air}} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T \quad (\text{Wardani, 2007:9}) \quad (2-7)$$

Dimana:

E_{serap} =Energi yang diserap oleh air (kj)

m_{air} = massa dari air (kg)

$C_{p\text{air}}$ = kalor jenis air (kJ/kgK)

2.7 Kesetimbangan Energi

Energi kalor didefinisikan sebagai salah satu energi yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem lainnya sebagai akibat adanya perbedaan temperatur.

Keseimbangan Energi dirumuskan pada Persamaan 2-8 :

$$E_{\text{hl}} = E_{\text{h}} - E_{\text{s}} - E_{\text{rs}} \quad (\text{Wardani, 2007:7}) \quad (2-8)$$

Keterangan:

E_{h} : Energi panas hasil pembakaran.

E_{s} : Energi yang diserap air.

E_{hl} :Energi hilang ke lingkungan.

E_{rs} : Energi yang diradiasikan ke selubung.

Energi radiasi adalah pancaran energi dari suatu sumber kalor.dan dirumuskan pada Persamaan 2-9 :

$$E_{\text{radiasi}} = \epsilon \sigma A_{\text{s}} T_{\text{s}}^4 \quad (\text{Cengel, 2003:28}) \quad (2-9)$$

Dengan:

ϵ = Emisivitas; $0 \leq \epsilon \leq 1$

σ = Konstanta Boltzman;(5.67x108W/m²K⁴)

A_s = Luas permukaan perpindahan kalor(m^2)

T_s = Temperatur absolut($^{\circ}C$)

2.8 Diameter Hidrolik

Diameter hidrolik merupakan sebuah istilah yang digunakan jika menghadapi aliran non circular dan tabung saluran. Diameter hidrolik dapat menghitung bentuk non circular sama seperti bentuk circular. Banyak saluran yang digunakan untuk memindahkan fluida yang berpenampang tidak bundar. Debit aliran pada saluran yang berbentuk persegi tergantung pada bentuk penampang yang sebenarnya dan banyak hasil dari pipa bundar dapat diterapkan pada aliran di dalam saluran dalam bentuk yang lainnya. Diameter hidrolik merupakan sebuah istilah yang digunakan jika menghadapi aliran non circular dan tabung saluran. Tanpa memperdulikan bentuk penampangnya, digunakan diameter hidrolik untuk mengetahui diameter penampang selain lingkaran atau bundar. Diameter hidrolik adalah empat kali rasio luas penampang dibagi dengan keliling atau perimeter yang dirumuskan pada Persamaan 2-10 :

$$Dh = \frac{4A}{P} \quad (\text{Munson, 2005 : 63}) \quad (2-10)$$

Keterangan :

Dh = Diameter Hidrolik (m)

P = Perimeter atau keliling (m)

2.9 Selubung

Selubung merupakan alat yang digunakan untuk menghambat panas yang akan keluar ke lingkungan sehingga panas lebih terfokus kepada permukaan yang dipanaskan. Untuk perhitungan dari selubung adalah sebagai berikut:

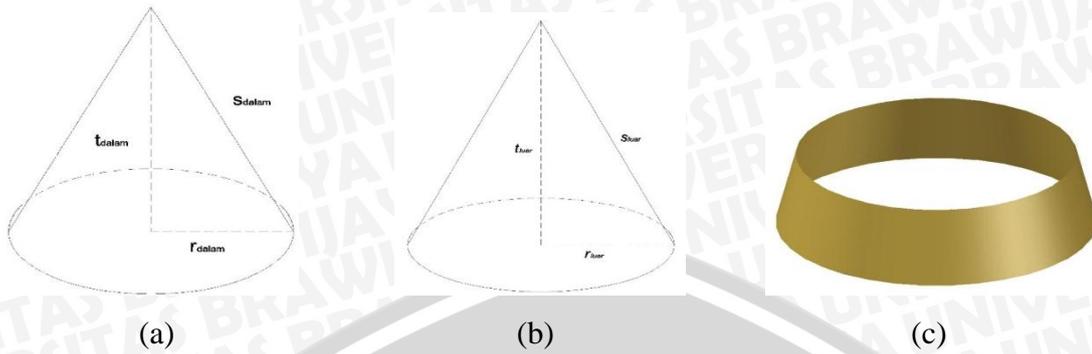
Untuk A_{selubung} adalah luasan yang meradiasikan panas dari ruang bakar menuju lingkungan.

Dengan :

$$A_{\text{selubung}} = \text{Luas Selimut Selubun}$$

$$A_{\text{selubung}} = L_{\text{selimut Luar}} - L_{\text{selimut Dalam}}$$

Diketahui :



Gambar 2.4 Selubung radiasi (a) dimensi selubung dalam, (b) dimensi selubung luar, (c) selubung radiasi.

$$S_{\text{Dalam}} = \sqrt{r_{\text{Dalam}}^2 + t_{\text{Dalam}}^2} = \sqrt{(8^2) + (7^2)} = 10,63 \text{ cm}$$

$$S_{\text{Luar}} = \sqrt{r_{\text{Luar}}^2 + t_{\text{Luar}}^2} = \sqrt{(10,5^2) + (10^2)} = 14,5 \text{ cm}$$

$$L_{\text{Dalam}} = \pi r S = 3.14 \times 8 \times 10.63 = 267,025 \text{ cm}^2$$

$$L_{\text{Luar}} = \pi r S = 3.14 \times 10.5 \times 14.5 = 478.065 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{selubung}} = L_{\text{Luar}} - L_{\text{Dalam}} = 478,065 - 267,025 = 211,04 \text{ cm}^2 = 0,0211 \text{ m}^2$$

2.10 Pembakaran

Pembakaran adalah rekaksi antara bahan bakar dan udara dengan adanya energi lain. Reaksi pembakaran bisa timbul karena adanya oksigen, reaksi ini biasanya disertai adanya cahaya dan menghasilkan panas (Turns, 1996). Energi lain memiliki fungsi memisahkan partikel partikel dari bahan bakar sehingga menjadi bagian – bagian kecil yang menyebabkan bahan bakar dapat bercampur dengan udara membentuk ikatan – ikatan yang lebih kuat dan kelebihan energi tersebut dilepaskan melalui suatu sistem. Yang menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur. Proses pembakaran juga dapat terjadi jika ada bahan bakar, pengoksidasi (oksigen / udara), dan energi aktivasi atau panas.

Pembakaran sempurna merupakan pembakaran yang menghasilkan produk yang sempurna yaitu CO₂, H₂O, dan N₂. Kondisi dimana CO₂, H₂O dan N₂ merupakan inert gas, akan tetapi N₂ tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun dengan udara.



Untuk dapat dikatakan pembakaran yang sempurna, maka semua unsur C harus bereaksi menjadi CO_2 dan semua H_2 akan bereaksi menjadi H_2O . Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dengan udara secara rumus dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995:21):



Jumlah udara minimum yang digunakan dalam persamaan di atas yang biasa disebut dengan udara teoritis. Pada kondisi awal pembakaran sempurna hampir tidak terjadi karena pada pembakaran awal hanya berlangsung secara kompleks. Pembakarannya dipengaruhi oleh beberapa hal seperti model ruang bakar, udara, kondisi bahan bakar, dan temperatur ruang bakarnya. Adapun cara untuk mendapatkan pembakaran sempurna yaitu dengan menambahkan udara berlebih. Reaksi pembakaran dengan menggunakan udara berlebih dapat dirumuskan sebagai berikut:



Dengan:

- λ = faktor kelebihan udara
- $\lambda = 1$, apabila dipergunakan udara teoritis
- $\lambda > 1$, apabila dipergunakan udara berlebih
- $\lambda < 1$, apabila kekurangan udara

Dalam pembakaran peningkatan kecepatan reaksi merupakan hal yang sangat berpengaruh. Cara-cara untuk meningkatkan kecepatan reaksi sehingga pembakaran menjadi lebih cepat adalah sebagai berikut:

1. Memperluas luas bidang kontak antara bahan bakar dan udara. Meningkatkan intensitas turbulensi untuk proses pencampuran reaktan
2. Pada saat pencampuran reaktan intensitas turbulensi ditingkatkan.
3. Meningkatkan temperatur pada awal pembakaran.

2.11 Hipotesa

Penambahan grid pada sistem pemanasan dengan menggunakan kompor gas dapat meningkatkan suhu di dalam ruang bakar sehingga kecepatan dan efisiensi sistem pemanasan meningkat, efisiensi sistem pemanasan tertinggi diperoleh dari kompor gas dengan penambahan grid berpenampang lingkaran.

