BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Afirzal Zulkarnaen (2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh *perforated burner* terhadap karakteristik api pada pembakaran *premixed*. *Perforated burner* yang digunakan memiliki 7 lubang dimana nantinya dibandingkan dengan bunsen burner untuk mengamati perbedaan karakteristik nyala api (tinggi api, temperatur, serta kecepatan pembakaran laminer) dengan cara memvariasikan rasio ekuivalen dari masing-masing *burner*. Dari penelitian didapatkan bahwa penggunaan *perforated burner* mempengaruhi nilai tinggi api serta temperatur api. Dimana pada *perforated burner* nilai temperatur api yang dihasilkan lebih tinggi dari *bunsen burner*, hal ini dikarenakan pada *perforated burner* terdapat akumulasi nilai kalor pada mulut *burner* yang mengakibatkan perubahan temperatur bahan bakar dimana panas yang terakumulasi tersebut menginduksi bahan bakar sehingga meningkatkan temperatur api. Pada *perforated burner* tinggi api memiliki kecenderungan untuk naik dari rasio ekuivalen rendah menuju rasio ekuivalen tinggi. Hal ini dikarenakan pada *perforated burner* terdapat *pressure drop* yang memicu terjadinya peningkatan kecepatan. Dan peningkatan kecepatan tersebut maka gas yang keluar akan semakin tinggi sehingga membentuk api difusi yang semakin tinggi.

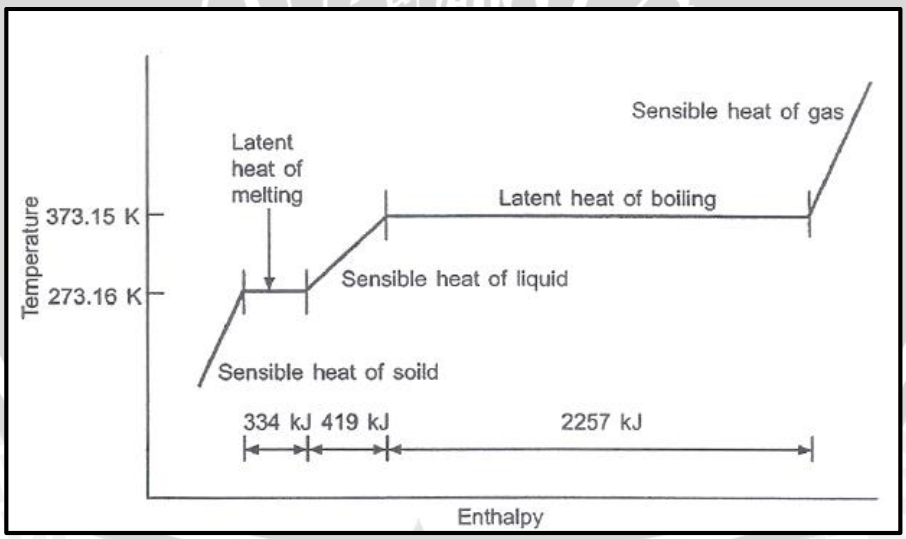
Prima Widiandra (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh material selubung sebagai isolator terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas. Variabel bebas pada penelitian ini adalah material selubung aluminium, besi dan keramik. Variabel terikat pada penelitian ini adalah energi yang diserap oleh air, energi panas hasil pembakaran, efisiensi, panas yang hilang dan efektivitas material selubung. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah massa alir gas 2,625 x 10^{-5} kg/s, banyaknya air yang dipanaskan sebanyak 1 liter, LPG 3kg dengan komposisi *propane* 30% + *butane* 70% dan jarak selubung dengan panci 4 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian menggunakan variasi material selubung dapat meningkatkan efisiensi kompor gas. Efisiensi tertinggi diperoleh dengan pengujian menggunakan selubung keramik yaitu sebesar 46,36 %. Pemakaian selubung keramik hanya memerlukan waktu yang singkat diantara variasi yang lain yaitu sebesar 521 detik, 32 detik lebih cepat daripada tanpa menggunankan selubung, 9 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung aluminium dan 31 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung besi. Dalam penelitian Prima

Widiandra ini pemakaian dengan selubung keramik lebih efektif dan dapat menghemat penggunaan bahan bakar gas lebih banyak daripada variasi yang lain.

Ashari (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh jarak selubung dengan panci terhadap efisiensi sistem menggunakan kompor gas sehingga didapatkan jarak yang optimum agar efisiensi kompor gas lebih tinggi dibandingkan kompor gas standar. Variasi jarak selubung dengan panci yaitu 7, 6, 5, 4, 3, 2, dan 1 mm. Selubung yang digunakan terbuat dari material keramik. Data yang diamati adalah efisiensi, penghematan waktu memasak, distribusi energi panas dan kehilangan energi yang diradiasikan selubung. Hasil penelitian ini menunjukan kompor yang menggunakan selubung dengan jarak panci sebesar 4mm memiliki efisiensi sistem pemanasan paling tinggi yaitu sebesar 46,36%. Sehingga jika dibandingkan dengan kompor gas standar terdapat peningkatan efisiensi sebesar 10%

2.2 Energi Panas

Energi panas di definisikan sebagai bentuk energi yang di pindahkan antar dua sistem (atau sistem dan sekitarnya) sebagai akibat adanya perbedaan temperatur (Cengel, 2008:66).



Gambar: 2.1 Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air.
Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (2000:02)

Pada sistem tertutup *(closed system)* yang masanya tetap dan terjadi perpindahan energi dengan tidak melibatkan kecepatan atau ketinggian selama proses maka untuk kesetimbangan energi pada kasus tersebut bisa di dapatkan dengan:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \Delta U = mC_v\Delta T \quad \text{(Cengel, 2003:12)} \quad (2\text{-}1)$$

Untuk sistem yang hanya melakukan perpindahan panas tanpa melakukan kerja maka persamaannya menjadi:

$$Q = mC_v\Delta T \quad \text{(Cengel 2003:12)} \quad (2\text{-}2)$$

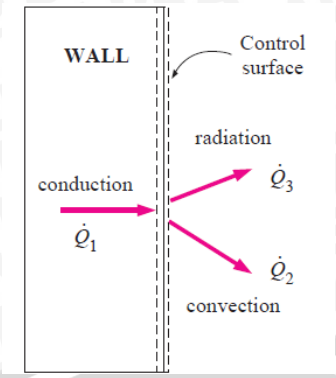
Dengan:

Q	=	Laju energi kalor	(J)
m	=	Laju aliran massa fluida	(kg)
C_p	=	Kalor spesifik pada tekanan konstan	(J/kg.^{o}C)
ΔT	=	Perubahan temperatur	(^{o}C)

Energi spesifik atau kalor spesifik adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu zat per satuan masa dan satuan derajat temperatur. Ada dua jenis kalor spesifik yaitu kalor spesifik pada volume konstan dimana energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu zat per satuan masa dan satuan derajat temperatur dengan menjaga volume nya tetap konstan atau C_v dan kalor spesifik pada tekanan yang dijaga konstan konstan atau C_p. Pada zat *incompressible* memiliki volume spesifik yang tidak berubah atau konstan sehingga untuk panas spesifik pada volume dan tekanan konstan identik sama.

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur, perpindahan energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama terjadinya perpindahan panas. Panas yang ditransfer dari suatu titik ke titik yang lain bisa melalui salah satu dari tiga cara ini yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.

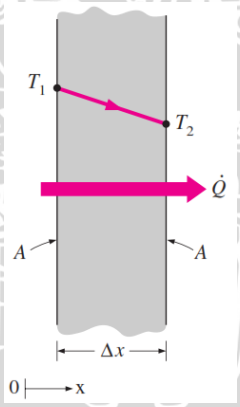


Gambar 2.2 Perpindahan panas pada suatu dinding

Sumber: Cengel (2003:14)

2.3.1 Konduksi

Suatu proses perpindahan kalor dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam satu medium atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi disebut perpindahan panas konduksi. Contoh perpindahan kalor secara konduksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi

Sumber: Cengel (2003:18)

Laju perpindahan kalor konduksi proporsional terhadap luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur dan konduktivitas termal material, namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor, sehingga dapat dinyatakan:

$$\dot{Q}_{konduksi} = kA\frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad \text{(Cengel, 2003:18)} \qquad (2\text{-}3)$$

Dengan:

$\dot{Q}_{konduksi}$	=	Laju perpindahan kalor konduksi	(W)
k	=	Konduktivitas termal bahan	(W/m^{o}C)
A	=	Luas permukaan perpindahan panas	(m^2)
$T_1 - T_2$	=	Perbedaan temperatur	(^{o}C)
Δx	=	Ketebalan permukaan pada arah x	(m)

2.3.1.2 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dari material dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan panas melalui ketebalan unit bahan per satuan luas per perbedaan suhu atau ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal beberapa bahan umum pada suhu ruangan diberikan dalam tabel di bawah ini.

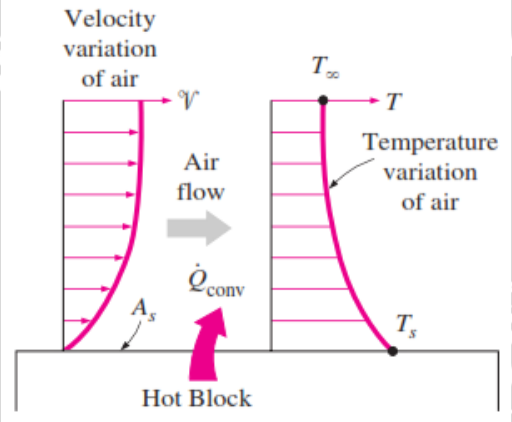
Tabel 2.1 Konduktivitas termal bahan dalam suhu ruangan

Material	K (W/m ^{o}C)
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminium	237
Iron	80,2
Mercury	8,54
Glass	0,78
Brick	0,72
Water (l)	0,613
Human skin	0,37
Wood (oak)	0,17
Helium (g)	0,152
Soft rubber	0,13
Glass fiber	0,043
Air (g)	0,026
Urethane, rigid foam	0,026

Sumber: Cengel, (2003:20)

2.3.2 Konveksi

Proses perpindahan kalor antara permukaan padat dengan fluida cair maupun gas yang bergerak dan melibatkan konduksi serta gerakan dari fluida tersebut adalah perpindahan panas secara konveksi. Semakin cepat fluida bergerak maka laju perpindahan kalor juga akan semakin tinggi, adanya gerakan fluida akan semakin cepat menggantikan fluida yang telah panas disekitar permukaan benda padat dengan fluida dingin atau sebaliknya sehingga dihasilkan temperatur fluida yang lebih dingin atau lebih panas pada lapisan-lapisan fluida yang saling berinteraksi melakukan perpindahan panas, hal ini menyebabkan laju perpindahan kalor akan semakin tinggi.



Gambar 2.4 Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan panas
Sumber: Cengel (2003:26)

$$\dot{Q}_{conv} = h\, A_s\, (T_s - T_\infty) \qquad \text{(Cengel, 2003:26)} \qquad (2\text{-}4)$$

Dengan:

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

Perpindahan kalor konveksi akan melibatkan perpindahan massa dari fluida, dengan tidak adanya gerakan fluida maka perpindahan kalor yang terjadi merupakan murni perpindahan kalor konduksi.

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

1. Konveksi Natural (*Free Convection*)

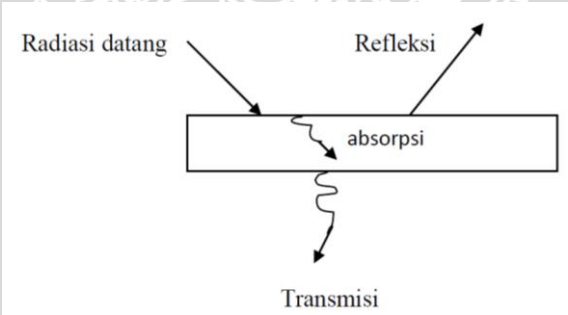
   Pada konveksi natural gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga sering disebut konveksi alamiah (*natural convection*).

2. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

   Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh pompa atau kipas (*fan*).

2.3.3 Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses dimana panas tersebut mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah melalui ruang ataupun hampa. Jika energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian energi tersebut di serap, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi diteruskan.



Gambar 2.5 Perpindahan kalor radiasi
Sumber: J.P Holman (1994:343)

Permukaan yang ideal untuk memancarkan energi radiasi pada tingkat tertinggi disebut benda hitam (*blackbody*) , dan energi radiasi yang dipancarkan oleh *blackbody* disebut juga *blackbody radiation*. Menurut hukum Stefan, radiasi adalah pancaran energi dari suatu sumber kalor dan dinyatakan oleh rumus:

$$Q_{radiasi} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \qquad \text{(Cengel, 2003:28)} \qquad (2\text{-}5)$$

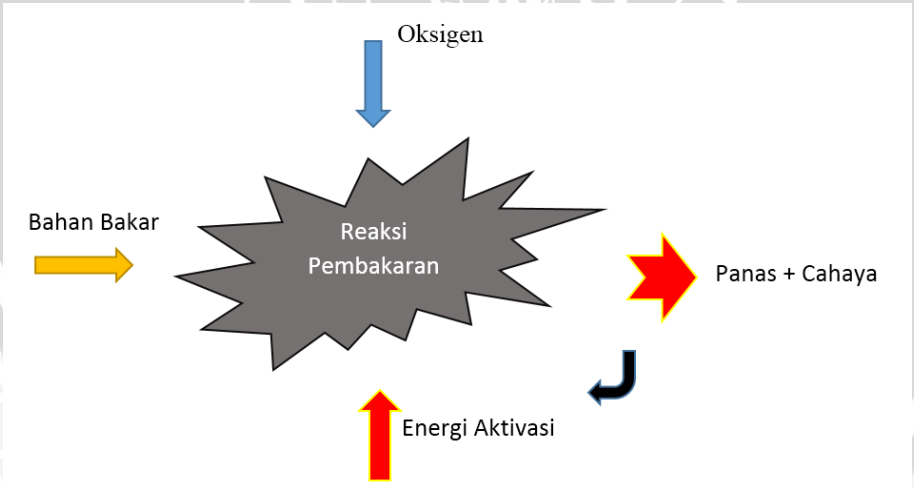
Dengan:

$Q_{radiasi}$	=	Laju perpindahan panas radiasi	(Watt)
ε	=	Emisivitas dipermukaan benda; $0 \leq \varepsilon \leq 1$	
σ	=	Konstanta Stefan-Boltzman;	(5.67×10^8 W/m^2.K^4)
A_s	=	Luas permukaan perpindahan kalor	(m^2)
T_s	=	Temperatur absolut	(^{o}C)

Dimana ε adalah emisivitas yang ada pada permukaan. Nilai emisivitas berkisar antara $0 \leq \varepsilon \leq 1$ dimana 1 adalah emisivitas dari *blackbody*.

2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dengan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertasi timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns, 1996). Energi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan bahan bakar menjadi radikal (ion) dan sangat efektif. Ion-ion akan bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan yang lebih kuat dan kelebihan-kelebihan energi ikatan akan dilepas kedalam sistem, sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang tinggi.



Gambar 2.6 Ilustrasi proses pembakaran

Pembakaran sempurna adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri dimana produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah CO_2, H_2O dan N_2 sebagai *inert*

gas, dimana N_2 merupakan unsur inert gas yaitu tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun dengan oksigen.

Untuk memenuhi pembakaran sempurna, semua C 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 matematis dituliskan sebagai berikut (Wardana, 1995:21):

$$C_xH_y + \left(x + \frac{1}{4}y\right)(O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow xCO_2 + \left(\frac{1}{2}y\right)H_2O + \left(x + \frac{1}{4}y\right)(3{,}76)N_2 \quad (2\text{-}6)$$

Dalam persamaan tersebut digunakan jumlah udara minimum yang biasa disebut dengan udara teoritis. Akan tetapi dalam kondisi awal pembakaran sempurna hampir tidak pernah terjadi karena pembakaran berlangsung secara kompleks. Pembakaran tidak hanya tergantung dari model ruang bakarnya tetapi juga tergantung kondisi bahan bakar, udara dan temperatur pembakarannya. Salah satu cara untuk memperbesar kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna adalah dengan menggunakan udara lebih.

2.5 Bahan Bakar

Secara umum, bahan bakar yang dipakai selama ini digolongkan ke dalam dua kelompok besar yaitu bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder. Bahan bakar primer adalah bahan bakar yang dapat secara langsung digunakan seperti kayu dan gas alam. Sedangkan bahan bakar sekunder bahan bakar yang diolah terlebih dahulu dari bahan bakar primer sebelum dipakai, misalnya bensin, minyak tanah (kerosin) dan minyak diesel atau solar.

Penggunaan bahan bakar tergantung pada kebutuhan akan efisiensi dan keekonomisannya. Pada beberapa tahun silam, kebutuhan energi untuk rumah tangga di Indonesia disuplai dari bahan bakar kerosin (minyak tanah), namun dengan kebijakan menggunakan bahan bakar gas (LPG) dari pemerintah penggunaan bahan bakar kerosin menjadi berkurang. Hal ini perlu diterapkan guna menyelamatkan keadaan ekonomi negara dari harga bahan bakar minyak dunia yang tidak dapat diprediksi naik turunnya.

2.6 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Ada dua tipe umum LPG yaitu dalam bentuk *propane* komersial. Jenis ini terdiri dari 90% *propane* dan *propylene* sedangkan sisanya adalah *ethane*, *ethene*, *butane*, *butene*. Tekanan uapnya pada 50^{o}C adalah antara 11.5 sampai 19.3 *bar gauge*. Sedangkan temperatur penguapannya adalah lebih kecil atau sama dengan 15^{o}C. Bentuk lain dari

LPG adalah *butane* komersial. Jenis ini sebagian besar terdiri dari *butane* dan *butene*. Sedangkan sisanya kurang dari 19% mengandung *propane* dan *propylene*. Tekanan uap jenisnya pada 50^{o}C adalah p ≤ 6.9 *bar gauge*. Temperatur penguapannya adalah T ≤ 1^{o}C.

LPG yang diproduksi dan dipasarkan di Indonesia oleh PT. Pertamina terdapat tiga jenis yaitu:

1. LPG *Butane*

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

2. LPG *Propane*

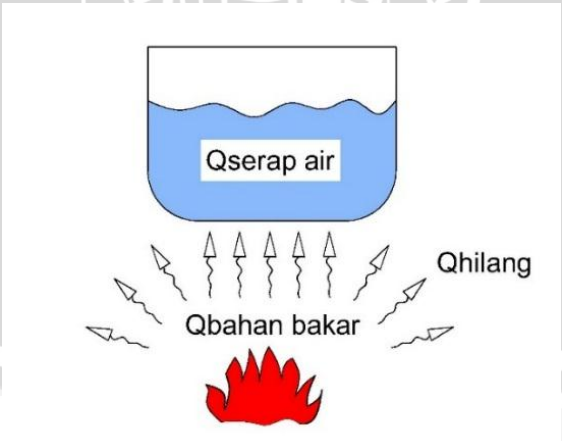
   Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan khusus yaitu bahan bakar LPG *propane*. Terdiri dari 95% *propane* dan ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

3. LPG Campuran

   Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan komersial yaitu LPG campuran *propane* dan *butane*. Terdiri dari 50% volume *propane* dan 50% volume *butane* serta ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

2.7 Efisiensi Sistem Pemanasan

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



Gambar 2.7 Model sistem.

Dari Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa sumber energi yang masuk ke dalam sistem berasal dari api kompor. Energi tersimpan di air dalam bentuk kenaikan temperatur air.

Energi yang terbuang ke lingkungan adalah energi dari api yang belum sempat berpindah ke air maupun panci.

Permasalahan disini dapat diselesaikan dengan cara neraca energi. Pada proses memanaskan air, neraca energi ditinjau pada keadaan belum memanaskan air terhadap keadaan sesudah memanaskan air.

Kesetimbangan energi untuk sistem tertutup adalah :

Qmasuk = Qkeluar

Qbahan bakar = Qserap air + Qhilang

$$\dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG} = m_{Air} \times C_{p_{Air}} \times (T_2 - T_1) + \text{Qhilang} \quad (2\text{-}7)$$

Qserap air dapat didekati dengan

$$\text{Qserap air} = m_{Air} \times Cp_{Air} \times (T_2 - T_1) \; . \quad (2\text{-}8)$$

Dengan:

m_{Air}	:	Massa air (kg)
$C_{p_{Air}}$	:	Panas Spesifik Air (4,2 kJ/kg^{o}K)
T_2	:	Temperatur akhir air (^{o}K)
T_1	:	Temperatur awal air (^{o}K)

Qbahan bakar adalah massa alir dari bahan bakar yang digunakan dikali LHV bahan bakar gas tersebut dikali waktu:

$$Q_{bahan\ bakar} = \dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG} \quad (2\text{-}9)$$

Dengan:

$\dot{m}_{gas}$	:	Massa alir LPG (kg/s)
Massa alir LPG	:	ρ LPG x Q LPG (kg/s)
ρ LPG	:	Massa jenis LPG (0,0021 kg/l)
Q LPG	:	Debit LPG (l/s)
t	:	Waktu pembakaran (s)
LHV_{LPG}	:	*Low Heating Value* bahan bakar (kJ/kg)

Dengan menukarkan sisi kiri pada persamaan (2-8) dengan Q_{hilang} yang ada di sisi kanan dengan $Q_{bahan\ bakar}$, maka persamaannya menjadi:

$$Q_{hilang} = \dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG} - m_{Air} \times C_{Air} \times (T_2 - T_1) \quad (2\text{-}10)$$

Sehingga, efisiensi sistem pemanasan untuk memanaskan air dengan kompor gas adalah:

$$\eta = \frac{Qserap\ air}{Qbahan\ bakar} \times 100\ \% \quad (2\text{-}11)$$

$$\eta = \frac{massa\ air \times Cp_{air} \times \Delta T}{\dot{m} \times t \times LHV_{LPG}} \times 100\ \% \quad (2\text{-}12)$$

2.8 Hipotesis

Dengan pemakaian *perforated burner* maka distribusi panas yang dihasilkan akan menyebar dari api dengan bidang kontak objek yang dipanaskan dikarenakan letak lubang *perforated burner* yang menyebar dan dengan pemakaian selubung sebagai isolasi ruang perpindahan panas antara *burner* dengan objek yang dipanaskan untuk mengurangi energi yang hilang ke lingkungan maka akan meningkatkan efisiensi sistem pembakaran pada kompor gas konvensional.