

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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 laminar) 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.

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 $2,625 \times 10^{-5}$ 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 menggunakan selubung, 9 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung aluminium dan 31 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung besi. Dalam penelitian prima

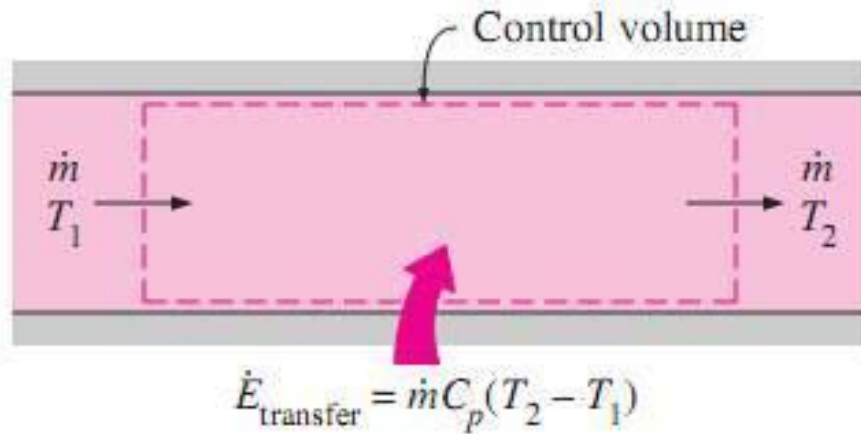
widiandra ini pemakaian dengan selubung keramik lebih efektif dan dapat menghemat penggunaan bahan bakar gas lebih banyak daripada variasi yang lain.

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 menunjukkan 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%.

Pada penelitian ini, dilakukan dengan mengganti *burner* dari kompor gas dengan *perforated burner* yang di desain sendiri dengan 3 macam material yaitu aluminium, besi dan kuningan. Selain mengganti *burner*, pada penelitian ini juga menggunakan selubung dengan material keramik yang didasari pada penelitian sebelumnya (Widiandra, 2014). Yang membedakan penelitian ini yaitu apabila pada penelitian sebelumnya menggunakan *bunsen burner* (Zulkarnaen, 2014), pada penelitian ini menggunakan kompor gas yang diganti *burnernya* dengan *perforated burner*.

2.2 Energi Kalor

Energi kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem yang lain sebagai akibat adanya perbedaan temperatur (Cengel, 2003:2). Pada fluida yang mengalir steady di dalam suatu saluran dimana terdapat satu inlet dan satu outlet maka laju aliran massa fluida yang masuk akan sama dengan laju aliran massa fluida keluar atau $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$, jika fluida tersebut tidak melakukan kerja maka besarnya energi kalor yang di transfer akan sama dengan perubahan energi yang terdapat pada sistem tersebut, ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Transfer energi kalor pada sistem dengan *control volume*
 Sumber: Cengel (2003:13)

Berdasarkan gambar diatas besar kecilnya kalor atau energi yang ditransfer tergantung pada tiga faktor berikut:

1. Massa zat
2. Kalor jenis (panas spesifik)
3. Perubahan suhu

Sehingga secara matematis dapat dirumuskan:

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

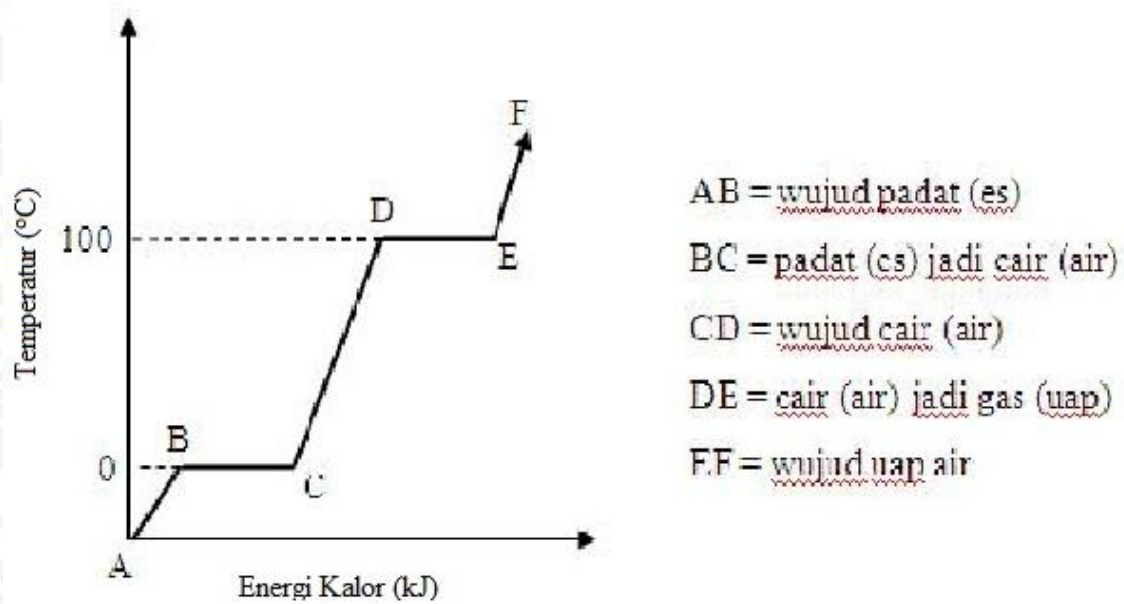
Dengan:

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

Secara umum kalor dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Kalor yang digunakan untuk menaikkan suhu
2. Kalor yang digunakan untuk mengubah wujud (kalor laten), persamaan yang digunakan dalam kalor laten ada dua macam
 - A. $Q = m \cdot U$ (U adalah kalor uap J/kg)
 - B. $Q = m \cdot L$ (L adalah kalor lebur J/kg)



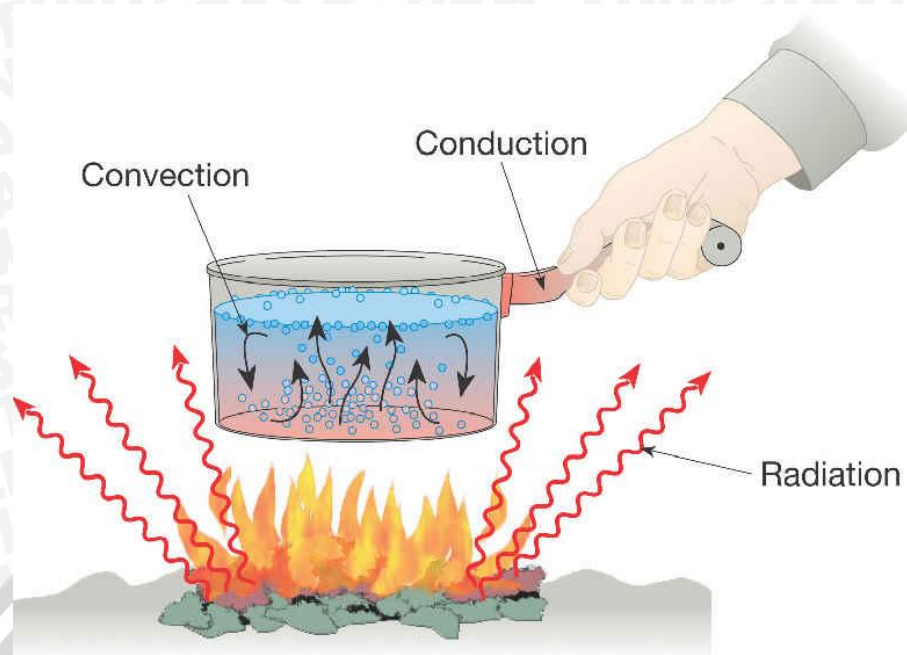


Gambar 2.2 Grafik perubahan suhu dan wujud pada es yang dipanaskan sampai menjadi uap

Sumber: Wahab Abdul, (2015)

2.3 Perpindahan Panas

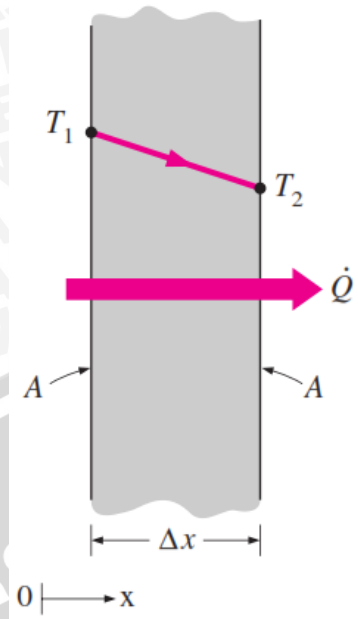
Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai transfer energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur, transfer energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur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



Gambar 2.3 Ilustrasi proses perpindahan panas (konduksi, konveksi dan radiasi)
Sumber: Pisupati Sarma, (2014)

2.3.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi didefinisikan sebagai suatu 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 atau berinteraksi secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Perpindahan kalor konduksi dapat terjadi baik pada benda padat, benda cair maupun gas. Pada benda cair dan gas perpindahan kalor konduksi terjadi karena adanya tumbukan (*collision*) serta *difusi* pada molekul selama mengalami gerak acak akibat kenaikan temperatur, sedangkan pada benda padat perpindahan kalor konduksi terjadi karena kombinasi getaran molekul pada kisi-kisinya serta perpindahan energi oleh elektron bebas, dimana pada saat dipanaskan gerakan dari atom dan elektron bebas yang sebelumnya bergetar dengan setimbang akan berubah menjadi getaran yang lebih besar sehingga menumbuk atom-atom dan elektron disekitarnya. Interaksi antar atom maupun elektron tersebut menyebabkan adanya transfer energi dari atom yang satu ke atom yang lain, sehingga kalor akan merambat dalam substansi tersebut secara atomik. Perpindahan kalor konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.4 Perpindahan panas konduksi
 Sumber: Cengel (2003:18)

Laju perpindahan kalor konduksi dikemukakan oleh J. Fourier pada tahun 1822 yaitu besarnya 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:

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

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)

Dimana konstanta k adalah konduktivitas termal material, yang merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Jika $\Delta x = 0$, persamaan di atas tereduksi menjadi bentuk diferensial.



$$Q_{\text{konduksi}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Cengel, 2003:18}) \quad (2-2)$$

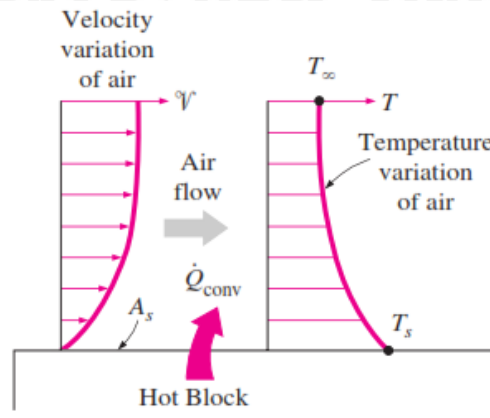
Tanda negatif di dalam rumus memastikan bahwa perpindahan panas dalam arah x positif adalah jumlah yang positif.

Pada penelitian ini konduksi terjadi dari permukaan panci yang mendapat panas dari api terlebih dahulu sampai menyebar ke seluruh permukaan panci. Penggunaan *perforated burner* dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi dan ruang bakar yang ditutup dengan selubung dapat meningkatkan temperatur ruang bakar dan mengarahkan persebaran api yang keluar menuju panci sehingga banyak perpindahan panas yang diserap oleh panci daripada yang teradiasi ke lingkungan.

2.3.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu mekanisme perpindahan kalor antara permukaan padat dengan fluida cair maupun gas yang bergerak dan melibatkan konduksi serta gerakan dari fluida tersebut. Semakin cepat gerakan fluida maka akan semakin besar laju perpindahan kalor konveksinya. Atas dasar suatu proses pendinginan balok panas yang ditiupkan udara dingin maka proses perpindahan kalor konveksi akan terjadi melalui beberapa tahap, pertama energi kalor akan mengalir secara konduksi dari permukaan benda padat ke partikel-partikel lapisan fluida yang berbatasan, kemudian energi ini akan terbawa menjauh dari permukaan benda padat melalui mekanisme konveksi, dimana terdapat dua proses yang terjadi secara bersamaan yaitu kombinasi dari efek konduksi didalam fluida akibat gerakan acak antar partikel-partikel fluida yang memiliki energi lebih rendah, serta adanya gerakan fluida secara makroskopis yang akan menggantikan fluida yang telah panas disekitar permukaan benda padat dengan fluida dingin.

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 2.5 Perpindahan kalor konveksi dari suatu permukaan panas dengan konveksi
 Sumber: Cengel (2003:26)

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

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 ($^{\circ}\text{C}$)

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 Bebas (*Free Convection*)

Pada konveksi bebas 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*). Transfer kalor yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas.



Pada penelitian ini konveksi yang terjadi diawali perpindahan panas secara konduksi antara permukaan panci dengan fluida yang bagian bawah. Fluida mendapat panas yang menyebabkan suhunya naik kemudian partikel fluida akan bergetar dan bergerak menuju daerah yang bersuhu rendah di dalam fluida yang nantinya akan bercampur dengan cara mentransfer energinya ke partikel lainnya sampai semua partikel dari fluida tersebut suhunya sama. Energi sebenarnya disimpan dalam partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut.

Penggunaan *perforated burner* dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi dan ruang bakar yang ditutup dengan selubung dapat meningkatkan temperatur ruang bakar dan mengarahkan persebaran api yang keluar menuju panci untuk memanaskan fluida air. Dengan lebih terarahnya persebaran dari api dapat menyebabkan pergerakan dari partikel-partikel fluida juga semakin cepat dan proses perpindahan panas konveksinya juga cepat.

2.3.3 Radiasi

Istilah radiasi maksudnya adalah pancaran (emisi) energi terus menerus dari permukaan semua benda. Energi ini dinamakan energi radian dan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang ini bergerak secepat kecepatan cahaya dan dapat melewati ruang hampa, dan juga melalui udara (yang lebih baik didalam ruang hampa, karena kalau lewat udara sebagian kecilnya akan diserap oleh udara). Kalau teralang oleh suatu benda yang tak dapat dilaluinya, misalnya telapak tangan atau dinding kamar, gelombang itu akan diserapnya. (Sears Francis, 1982). Menurut hukum Stefan, radiasi adalah pancaran energi dari suatu sumber kalor ke bidang lain, dan dinyatakan oleh rumus:

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

Dengan:

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

Tabel 2.1 Nilai emisivitas dari beberapa material

Material	Emisivitas
Aluminium foil	0,07
Anodized aluminium	0,82
Polished copper	0,03
Polished Gold	0,03
Polished Silver	0,02
Polished stainless steel	0,17
Black paint	0,98
White paint	0,9
White paper	0,92-0,97
Asphalt pavement	0,85-0,93
Red brick	0,93-0,96
Human skin	0,95
Wood	0,82-0,92
Soil	0,93-0,96
Water	0,96
Vegetation	0,92-0,96

Sumber: Cengel, (2003:28)

Pada penelitian ini penggunaan selubung bertujuan untuk mengisolasi ruang bakar agar panas yang disebarkan oleh *perforated burner* tidak teradiasi ke lingkungan sekitar. Selubung yang digunakan terbuat dari material keramik yang memiliki nilai konduktivitas termal rendah sehingga akan menahan panas (isolator) agar tetap berada di ruang bakar sehingga banyak energi yang terserap oleh air dan meningkatkan efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas.

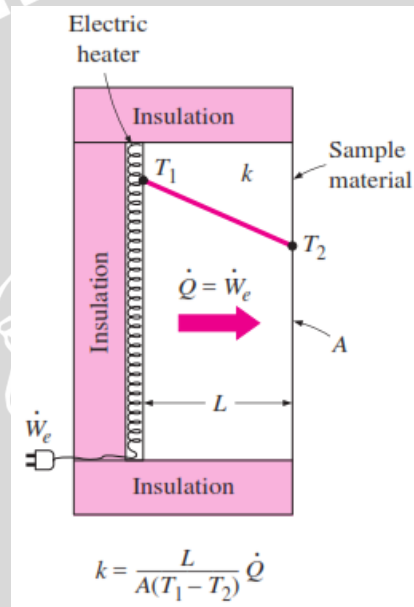
Selain itu proses radiasi pada penelitian ini juga terjadi antara permukaan burner dengan ruang bakar yang disebabkan karena nilai konduktivitas termal dari burner. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu burner maka temperatur permukaan dari burner tersebut juga semakin tinggi sehingga ada transfer panas radiasi ke ruang bakar yang menyebabkan temperatur api juga semakin tinggi.

2.4 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dari material dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan panas melalui ketebalan unit bahan per satuan luas per perbedaan suhu. Konduktivitas termal material adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Harga tertinggi untuk konduktivitas termal menunjukkan bahwa material adalah konduktor

panas yang baik, dan harga terendah untuk konduktivitas termal menunjukkan bahwa material adalah bukan penghantar panas yang baik atau disebut isolator.

Pada penelitian ini, nilai konduktivitas termal dari material akan mempengaruhi temperatur api. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal maka mengakibatkan temperatur permukaan dari burner juga tinggi karena adanya proses perpindahan panas radiasi sehingga juga akan meningkatkan temperatur api sehingga akan mentransfer panas ke daerah campuran antara udara dengan bahan bakar dan meningkatkan temperatur campurannya (*preheat zone*). Dengan meningkatnya temperatur campuran udara dengan bahan bakar akan mempercepat proses pembakaran yang terjadi sehingga akan meningkatkan efisiensi sistem pemanasan.



Gambar 2.6 Pengaturan eksperimental sederhana untuk menentukan konduktivitas termal material

Sumber: Cengel (2003,20)

Konduktivitas termal beberapa bahan umum pada suhu ruangan diberikan dalam tabel di bawah ini.

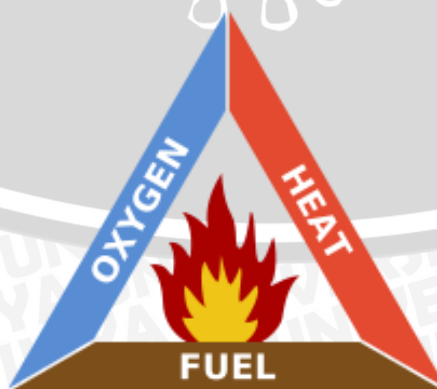
Tabel 2.2 Konduktivitas termal bahan dalam suhu ruangan

Material	k (W/m°C)
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminium	237
Iron	80.2
Brass	108
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)

2.5 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dengan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai 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 ke dalam sistem, sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang tinggi.



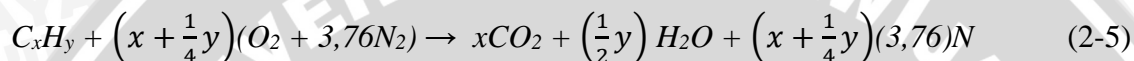
Gambar 2.7 Syarat proses pembakaran

Sumber: Putrohari, (2010)

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.

Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

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):

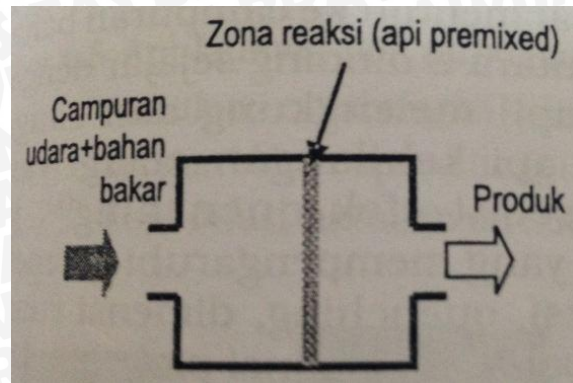


Salah satu keuntungan dari proses pembakaran adalah dapat memperoleh energi yang cepat dengan adanya reaksi kimia pembakaran yang berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu, peningkatan kecepatan reaksi pembakaran merupakan faktor penting di dalam pembakaran. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan reaksi pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan intensitas turbulensi untuk proses pencampuran reaktan
2. Memperluas daerah kontak reaksi bahan bakar dan udara
3. Meningkatkan temperatur pembakaran (pembakaran awal)

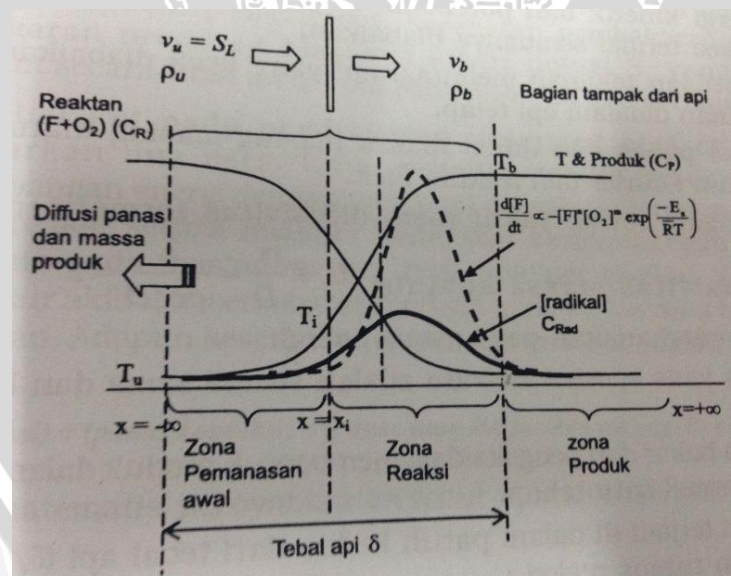
2.5.1 Pembakaran Premixed

Pembakaran dapat dilakukan secara premixed dan difusi. Pembakaran secara premixed adalah pembakaran dimana bahan bakar bercampur dengan udara didalam *burner* sebelum dialirkan menuju mulut *burner* dan mulai dibakar. Contoh pembakaran premixed adalah kompor gas.



Gambar 2.8 Pembakaran premixed
Sumber: Wardana, (2008:149)

Pada gambar 2.8 sebelum masuk ke ruang bakar, bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) telah dicampur secara sempurna kemudian terbakar di zona reaksi. Proses reaksinya berlangsung sangat cepat biasanya pada tekanan tetap. Setelah melewati zona reaksi reaktan menjadi produk. Zona reaksinya sangat tipis yang disebut api premixed. Api premixed akan merambat menuju ke arah reaktan. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stationer. Jadi karakter api premixed adalah merambat.



Gambar 2.9 Detail struktur di dalam api premixed
Sumber: Wardana, (2008:155)

Keterangan gambar:

C_R : konsentrasi reaktan

C_P : konsentrasi produk

- T : distribusi temperatur
 T_u : temperatur reaktan
 T_b : temperatur produk
 T_i : temperatur penyalaan
 C_{rad} : konsentrasi radikal

Dari gambar 2.9 dapat dilihat bahwa temperatur produk lebih tinggi daripada temperatur reaktan yang memicu transfer panas dari produk ke reaktan. Karena distribusi produk bersuhu tinggi juga sama dengan distribusi temperatur maka transfer panas juga disertai difusi massa produk. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan, sehingga zona pemanasan awal temperaturnya menjadi lebih tinggi, dan terjadi pembakaran. Peristiwa ini terjadi secara kontinyu, sehingga api akan merambat ke arah reaktan. Sebaliknya karena massa reaktan habis saat bereaksi maka perbedaan konsentrasi reaktan akan memicu difusi massa reaktan terus menerus menuju zona reaksi.

2.6 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. Bahan bakar gas memang sedikit lebih mahal dari bahan bakar minyak dunia. Bahan bakar gas memang sedikit lebih mahal dari bahan bakar cair namun dalam penggunaannya mudah dan lebih sederhana.

2.7 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG biasanya terdiri dari gas *propane* dan *butane*. Gas-gas tersebut diperoleh dari destilisasi minyak mentah. Hasil destilisasi minyak mentah adalah:

- LPG sekitar 1-2 %
- Naphtha ringan 5-30 %
- Naphtha berat 5-10 %
- Kerosin 10-15 %
- Gas mentah 15-20 %
- Minyak residu 40-50 %

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°C adalah antara 11.5 sampai 19.3 *bar gauge*. Sedangkan temperatur penguapannya adalah lebih kecil atau sama dengan 15°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°C adalah $p \leq 6.9$ *bar gauge*. Temperatur penguapannya adalah $T \leq 1^\circ\text{C}$.



Gambar 2.10 *Liquified Petroleum Gas*
Sumber: Siswantoro Heri, (2014)

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

1. LPG Campuran

Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan komersial yaitu LPG campuran propana dan butana. Terdiri dari 70% volume propana dan 30% volume butana serta ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

2. LPG Propana

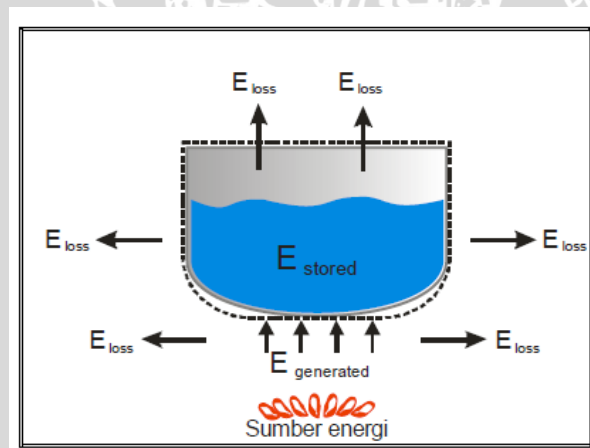
Bahan bakar gas LPG untuk kebutuhan khusus yaitu bahan bakar LPG propana. Terdiri dari 95% propana dan ditambahkan mercaptant yang berbau menyengat.

3. LPG Butana

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

2.8 Efisiensi Sistem Pemanasan

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



Gambar 2.11 Model sistem
Sumber: Wardani, (2007:6)

Dari Gambar 2.11 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 panci dalam bentuk kenaikan temperatur panci. Namun karena massa panci relatif kecil di banding massa air dan kapasitas panas jenis spesifik panci yang berbahan alumunium relatif rendah dibanding kapasitas panas jenis spesifik air, maka energi yang diserap oleh panci dapat diabaikan dalam perhitungan.

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

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 :

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W \quad (2-6)$$

dimana:

ΔEK adalah perubahan energi kinetik

ΔEP adalah perubahan energi potensial

ΔU 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:

$$\Delta U = Q \quad (2-7)$$

Energi panas Q adalah energi masuk E_{gas} dan energi keluar E_{loss} . ΔU 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:

$$C_v(T) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v \quad (2-8)$$

$$C_p(T) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_p \quad (2-9)$$

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 Cp maupun Cv, atau Cp = Cv = c. Air adalah zat inkompresibel, sehingga ΔU dapat didekati dengan $m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1)$. Setelah mengidentifikasi variabel ΔU dan Q, persamaan (2-8) berubah menjadi:

$$m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1) = E_{gas} - E_{loss} \quad (2-10)$$

Egas adalah massa gas yang digunakan dikali LHV gas tersebut:

$$E_{gas} = m_{gas} \times LHV \quad (2-11)$$

Dengan menukarkan sisi kiri pada persamaan (2-10) dengan E_{loss} yang ada di sisi kanan serta mensubstitusikan E_{gas} dengan persamaan (2-11), maka persamaan (2-10) menjadi:

$$E_{loss} = m_{gas} \times LHV - m_{H_2O} \times C_{H_2O} \times (T_2 - T_1) \quad (2-12)$$

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 (ΔT) 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

$$\eta = \frac{E_{\text{serap}}}{E_{\text{pembakaran}}} \times 100 \% \text{ atau } = \frac{\text{massa air} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T}{\dot{m} \times t \times LHV_{LPG}} \times 100 \% \quad (2-13)$$

2.9 Hipotesa

- Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu bahan dari *perforated burner* maka semakin tinggi pula nilai efisiensi sistem pemanasan, dikarenakan semakin tinggi nilai konduktivitas termal bahan tersebut merupakan konduktor panas yang baik.
- Semakin rendah nilai konduktivitas termal suatu bahan dari selubung maka semakin tinggi pula nilai efisiensi sistem pemanasan, dikarenakan semakin rendah nilai konduktivitas termal akan menahan panas yang keluar ke lingkungan agar lebih banyak terserap oleh air.

