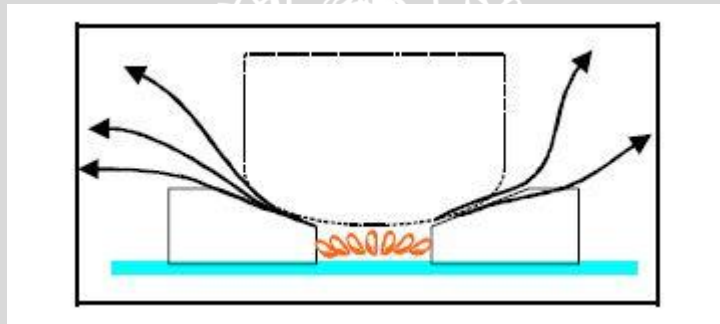


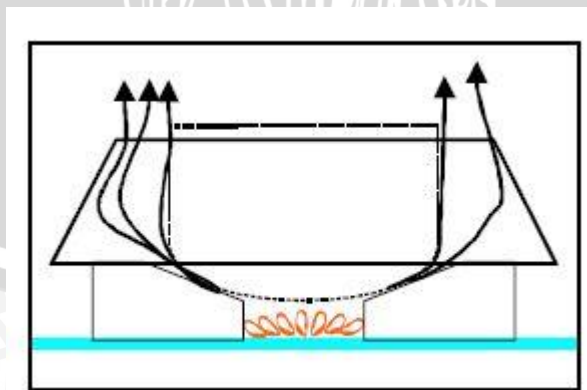
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dendi Wardani (2007) melakukan penelitian mengenai prinsip alat penghemat gas dengan menempatkan gas panas hasil dari pembakaran yang tersebar ke daerah dinding panci sehingga energi panas hasil dari pembakaran dapat lebih banyak diserap oleh panci yang selanjutnya diserap oleh air. Teknik yang dipergunakan dalam penelitiannya yaitu dengan memanfaatkan sebuah alat pengumpul aliran gas hasil pembakaran untuk diarahkan ke sekitar permukaan luar panci dan memberikan energi hasil pembakaran secara maksimal. Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dan 2.2 berikut ini.



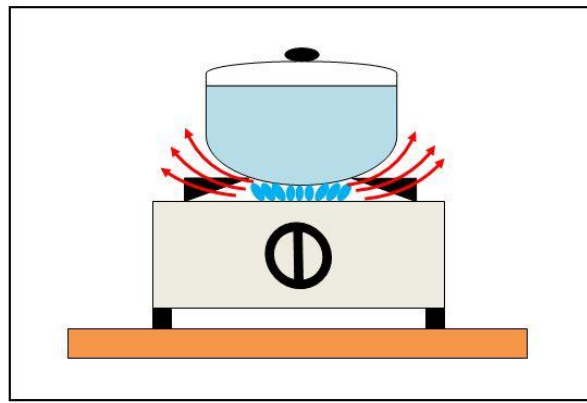
Gambar 2.1 Sebaran Energi Panas Hasil Pembakaran
Sumber : Dendi Wardani (2007)



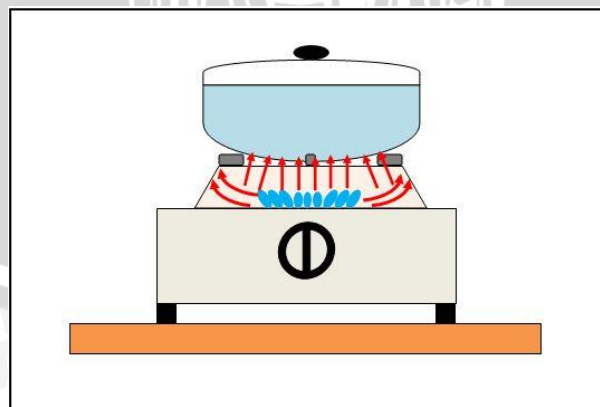
Gambar 2.2 Sebaran Energi Panas Hasil Pembakaran Terkontrol
Sumber : Dendi Wardani (2007)

Dengan bantuan alat bantu berupa selubung disekitar panci, diharapkan proses pembakaran bahan bakar dapat terjadi sempurna dan aliran energi panas hasil pembakaran dapat terkontrol seperti pada gambar 2.2. Dari fenomena tersebut diharapkan energi dari bahan bakar yang dimanfaatkan untuk proses pembakaran lebih sedikit namun hasil dari pembakaran yang dihasilkan lebih besar karena energi panas yang hilang dari hasil pembakaran lebih sedikit dengan alat bantu selubung daripada jika tidak memakai selubung.

Namun pada penelitian yang dilakukan, pemakaian selubung tersebut lebih difokuskan pada ruang bakar kompor gas dengan memvariasikan material dari selubung tersebut. Seperti yang terlihat pada gambar 2.3 dan 2.4 berikut ini.



Gambar 2.3 Sebaran energi panas hasil pembakaran



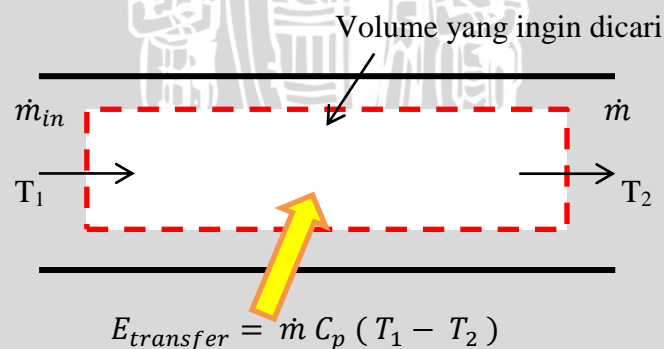
Gambar 2.4 Sebaran energi panas hasil pembakaran yang terkontrol

Dengan bantuan alat bantu berupa selubung disekitar ruang bakar kompor gas, diharapkan proses pembakaran bahan bakar dapat terjadi sempurna dan aliran energi panas hasil pembakaran dapat terkontrol seperti pada gambar 2.4. Dari fenomena tersebut diharapkan energi dari bahan bakar yang dimanfaatkan untuk proses pembakaran cenderung lebih sedikit dengan hasil dari pembakaran yang dihasilkan lebih besar karena energi panas yang hilang dari hasil pembakaran lebih sedikit dengan alat bantu selubung daripada jika tidak memakai selubung.

Dalam penelitian ini diterapkan pada proses pemanasan air dalam panci selain karena paling sering dilakukan dalam rumah tangga, pemanasan air merupakan hal yang paling mudah dilakukan dalam pengambilan data mengingat proses pengambilan data dilakukan secara berulang dengan jumlah sesuai variasi yang diperlukan.

2.2 Energi Panas

Energi kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari sistem satu ke sistem yang lain sebagai akibat adanya perbedaan temperatur (Çengel, 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 ditansfer akan sama dengan perubahan energi yang terdapat pada sistem tersebut, ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.5 Transfer energi kalor pada sistem dengan *control volume*
Sumber : Çengel (2003:13).

Besarnya laju energi pada sistem tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

dengan :

\dot{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)

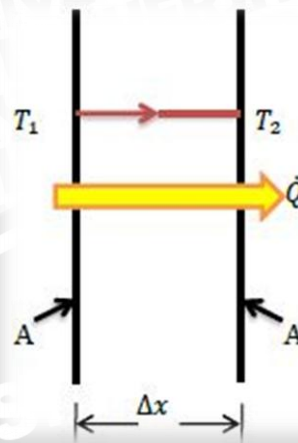
2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas 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 lebih rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama untuk terjadinya perpindahan kalor, jika kedua sistem mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan ada perpindahan kalor pada kedua sistem tersebut. Panas yang ditransfer dari suatu titik ke titik yang lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu perpindahan kalor konduksi, konveksi dan radiasi.

2.3.1 Perpindahan Panas 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 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Perpindahan kalor konduksi

Sumber : Çengel (2003:18)

Laju perpindahan kalor konduksi dikemukakan oleh J.B.J. Fourier pada tahun 1822 yaitu besarnya laju perpindahan kalor konduksi proporsioanal terhadap luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur, dan konduktivitas *thermal* material, namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor, sehingga dapat dinyatakan :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -k A \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} \quad (\text{Çengel, 2003:18}) \quad (2-2)$$

dengan :

\dot{Q}_{cond} = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m °C)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m²)

$T_2 - T_1$ = Perbedaan temperatur permukaan perpindahan kalor (°C)

Δx = Ketebalan permukaan perpindahan kalor pada arah x (m)

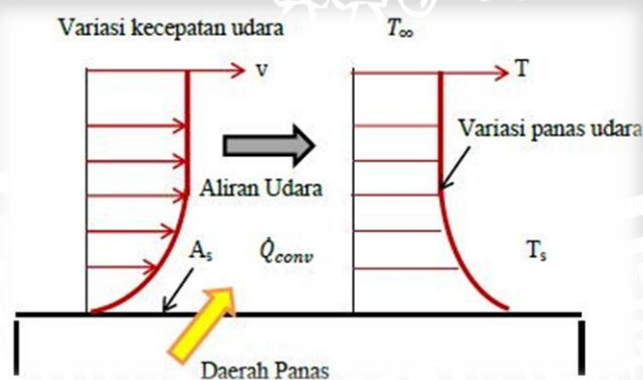
Konduktivitas termal bahan merupakan suatu konstanta proporsional yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor, konduktivitas

termal di definisikan sebagai besarnya kalor yang dapat dihantarkan oleh setiap unit tebal dari material per unit area per unit perbedaan temperatur.

2.3.2 Perpindahan Panas 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 terjadi secara mikroskopis sehingga partikel fluida yang memiliki energi lebih tinggi akan memindahkan sebagian energinya pada partikel fluida yang memiliki energi lebih rendah, serta adanya gerakan fluida secara makroskopis yang akan menggantikan fluida yang telah panas di sekitar 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 2.7 Perpindahan Kalor Konveksi Dari Suatu Permukaan Panas Yang Ditiupkan Udara Dingin

Sumber : Çengel (2003:26)

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (\text{Çengel, 2003:335}) \quad (2-3)$$

dengan :

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = \text{Laju perpindahan kalor konveksi (W)}$$

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

$$A = \text{Luas permukaan perpindahan kalor (m}^2\text{)}$$

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

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

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.

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan kalor tanpa adanya medium sehingga tidak ada transfer momentum maupun transfer massa yang dapat dianalogikan. Radiasi termal dapat didefinisikan sebagai energi yang dipancarkan oleh permukaan suatu bahan yang panas, dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Holman, 1981). Menurut hukum Stefan, radiasi adalah pancaran energi dari suatu sumber kalor dan dinyatakan oleh rumus:

$$Q_{\text{rad}} = e \sigma A T^4 \quad (\text{Çengel, 2003:54}) \quad (2-4)$$

dengan :

Q_{rad}	=	Laju perpindahan kalor radiasi (W)
e	=	Emisivitas; $0 \leq e \leq 1$
σ	=	Konstanta Stefan-Boltzmann;
σ	=	$5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
A	=	Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
T	=	Temperatur absolut

Perpindahan kalor secara radiasi dapat berlangsung di dalam kompor antara api yang menyala di atas dengan *char* dari biomassa yang terbentuk sehingga memungkinkan untuk *char* yang terbentuk juga berpijar. Selain itu, perpindahan kalor secara radiasi juga dapat berlangsung pada permukaan terluar kompor yang panas atau bersuhu tinggi ke lingkungan di sekitarnya sehingga terjadi *heat loss*. Kedua contoh radiasi pada kompor tersebut tidak menguntungkan sehingga harus diminimasi pada desain kompor yang dirancang dalam penelitian. Namun, ada pula radiasi yang menguntungkan, seperti kalor yang dipancarkan api yang berpindah secara radiasi ke permukaan bawah panci sehingga dapat mempercepat proses memasak (Lepeleire, 1981).

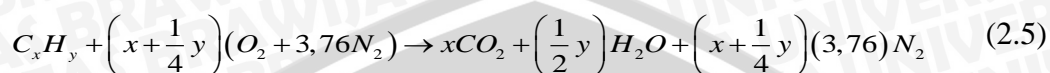
2.4 Pembakaran

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 reaktif. 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.

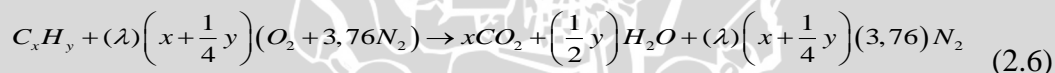
Pembakaran ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri dimana produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah CO_2 , H_2O , dan N_2 sebagai inert gas, dimana N_2 merupakan unsur inert gas yaitu tidak ikut bereaksi 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 mejadi 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 (Wardhana, 1995:21):



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. Udara lebih (*excess air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan bahan bakar. Reaksi pembakaran bahan bakar (C_xH_y) dengan menggunakan udara berlebih dituliskan sebagai berikut:



dengan:

λ	=	Faktor kelebihan udara
λ	=	1, apabila dipergunakan udara teoritis
λ	>	1, apabila dipergunakan udara berlebih
λ	<	1, apabila kekurangan udara

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 antara bahan bakar dan udara.
3. Meningkatkan temperatur pembakaran (pemanasan awal).

2.5 Bahan Bakar

Dalam setiap pembakaran baik *difusi* maupun *premixed* dibutuhkan bahan bakar. Bahan bakar inilah yang menjadi sumber energi pada proses pembakaran. Wujud bahan bakar terdiri dari gas, cair, dan udara dalam kacamata keadaan atau wujudnya, namun jika ditinjau dari aspek lain seperti proses pembentukannya bahan bakar terbentuk secara alamiah dan buatan.

Bahan bakar alami adalah bahan bakar yang telah tersedia di alam dan tanpa ada campur tangan manusia dalam meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar padat alami seperti: kayu, batubara, lignit, antrasit, dedaunan, dan sebagainya.

Bahan bakar cair umumnya merupakan bahan bakar nonalamiah walaupun saat ini sedang hangat-hangatnya isu bahan bakar dari air (H_2O) namun masih dalam penelitian, sedangkan bahan bakar gas alami seperti gas alam. Bahan bakar buatan adalah bahan bakar yang telah melalui berbagai macam proses kimia maupun fisika untuk menambah nilai kalornya. Bahan bakar padat buatan seperti: kokas, briket batubara, arang dan bris. Bahan bakar cair buatan seperti olahan dari minyak bumi berupa kerosene, pertamax, premium, solar dan lain sebagainya. Sedangkan bahan bakar gas buatan misalnya LPG.

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 cair, berupa kerosin namun dengan kebijakan menggunakan bahan bakar gas dari pemerintah penggunaan bahan bakar kerosin menjadi berkurang. Hal ini perlu diterapkan guna menyelamatkan keadaan ekonomi negara dari isu Internasional kenaikan harga bahan bakar minyak dunia. Bahan bakar gas memang sedikit lebih mahal dari bahan bakar cair namun dalam penanganannya mudah dan lebih sederhana serta kebutuhan akan udara lebih rendah dari bahan bakar lain.

2.5.1 LPG

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) yang populer di Indonesia dengan nama Elpiji didapat dari proses pengolahan gas alam atau dari minyak mentah. Dari gas alam selain diasilkan LNG juga didapat LPG, sedangkan dari pengolahan minyak mentah sebagian besar produk ringan dapat menghasilkan LPG dengan berbagai proses. Proses produksi LPG diawali dengan pembersihan gas alam dari berbagai kotoran. Selanjutnya gas yang sudah bersih dikeringkan, lalu didinginkan hingga menjadi cair. Gas yang sudah cair ini

dipisahkan dengan proses fisika-kimia di instalasi pemisahan berturut-turut untuk mengeluarkan senyawa metana (CH_4), etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}) dan lain sebagainya. LPG bisa dibuat dari senyawa propana (*propane*), butana (*butane*) atau campuran keduanya dengan perbandingan tertentu.

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

1. LPG Campuran

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

2. LPG Propana

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

3. LPG Butana

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

2.6 Hipotesa

Semakin kecil nilai konduktivitas termal suatu bahan, maka panas hasil pembakaran cenderung tertahan didalam ruang bakar, sehingga energi panas yang hilang dari hasil pembakaran semakin kecil. Begitu pula sebaliknya.