

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Ponepen (2016) Melakukan penelitian mengenai pengaruh porous geometri terhadap kestabilan premix lpg pada porous burner. Porous geometri yang digunakan pada penelitian ini ialah bulked cylinder porous burner dan hollow cylinder porous burner yang kemudian dibandingkan dengan porous burner konvensional. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada laju aliran bahan bakar yang sama, temperature yang dihasilkan kedua porous burner lebih tinggi dibandingkan burner conventional. Namun seiring meningkatnya laju aliran bahan bakar, karakteristik pembakaran pada hollow cylinder porous burner jauh lebih baik dibandingkan bulked cylinder porous burner. Hal ini dikarenakan ketika kecepatan campuran gas cukup tinggi, api mulai lift-off dan terbakar menyebar di luar matriks berpori. Hal ini karena efek gabungan antara pengurangan kecepatan api sebagai akibat dari entrainment rendah pada tahap premixed dan peningkatan efek konveksi.

Panigrahy (2016) Melakukan penelitian mengenai analisis pembakaran bahan bakar gas cair (LPG) ($40\% \text{C}_3\text{H}_8 + 60\% \text{C}_4\text{H}_{10}$) pada *radiant burner*. Demi perbandingan, hasil dari pembakaran LPG dalam modus *radiant burner* dibandingkan dengan pembakaran CH_4 . Pembakaran LPG di *radiant burner* diketahui memiliki rentang operasi lebih tinggi dari CH_4 . *Lean flammability limit* pada pembakaran LPG di *radiant burner* lebih rendah dari pembakaran CH_4 di *radiant burner*. *Lean flammability limit* $\phi = 0,399$ terdapat pada pembakaran LPG di *radiant burner*. Sedangkan untuk CH_4 , *Lean flammability limitnya* adalah $\phi = 0,43$. Radiasi fluks panas dan total fluks panas lebih tinggi pada pembakaran LPG di *radiant burner*. Pada *equivalence ratio* yang sama, emisi CO pada pembakaran LPG di *radiant burner* jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran CH_4 di *radiant burner*. Dengan rata-rata penurunan emisi CO yang dicapai 1.224,67 ppm pada pembakaran LPG di *radiant burner*, sedangkan pada pembakaran CH_4 , adalah 725,25 ppm.

Muthukumar (2013) Melakukan pengujian mengenai pengaruh dan kinerja *porous radiant burner* (PRB) dengan menggunakan variasi porositas yang dibandingkan dengan kompor domestik konvensional yang tersedia di pasar india menggunakan bahan bakar LPG. Dalam rangka mengoptimalkan porositas *burner*, *burner* divariasikan dengan porositas yang berbeda – beda yaitu, 80%, 85% dan 90%. Diketahui efisiensi maksimum terdapat pada PRB dengan porositas 90% adalah sekitar 75%, lebih tinggi 10% dari efisiensi thermal maksimum dari kompor domestik konvensional yang tersedia di pasar India. Efisiensi thermal dari PRB diketahui menurun dari 75% ke 71% seiring dengan penurunan porositas dari 90% ke 80%. Emisi CO dan NO_x yang diukur berada dikisaran 12-124 mg/m³ dan 0-0,75 mg/m³ untuk PRB dengan porositas 90%. Emisi CO dan NO_x akan meningkat seiring dengan menurunnya tingkat porositas pada PRB. Sedangkan emisi CO dan NO_x yang dihasilkan oleh kompor memasak domestik konvensional berada dikisaran 250-650 mg/m³ dan 4- 7 mg/m³.

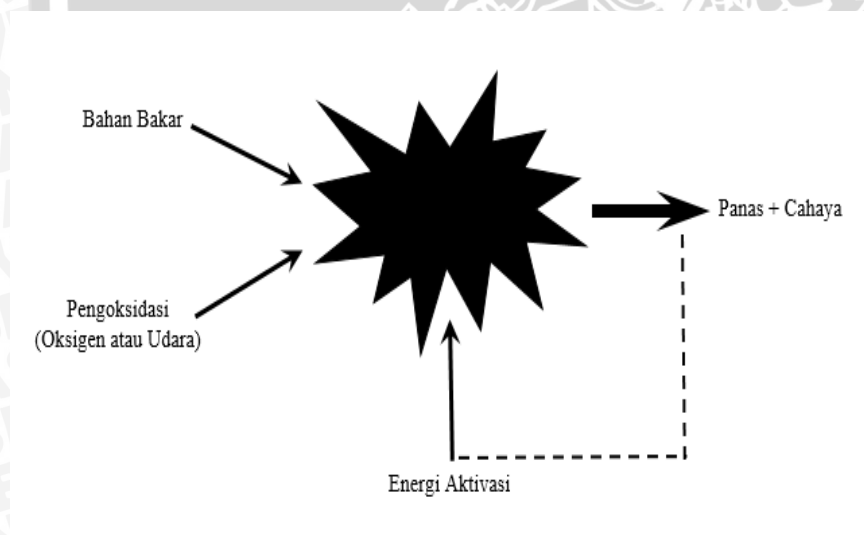
Byeonghun (2013) Melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran dan efisiensi thermal *porous radiant burner* (PRB) dengan tipe *porous-media burners* yang berbeda – beda, yang digunakan untuk menentukan tipe mana yang paling cocok untuk boiler kondensasi untuk dikembangkan kemudian. Tiga tipe *porous-media burners* yang digunakan adalah *metal fiber* (MF), *ceramic* (CM) and *stainless steel fin* (SF). Ketiga tipe *porous-media burners* tersebut diuji dengan *heat exchanger* komersial dengan berbagai *equivalence ratio* dan kapasitas *burner*. MF *burner* memiliki emisi CO terendah dari tiga jenis *burner*, dan *burner* SF memiliki emisi CO tertinggi. Namun, MF *burner* memiliki emisi NO_x dan efisiensi *thermal* tertinggi, dan *burner* SF memiliki emisi NO_x dan efisiensi *thermal* terendah. Dengan kata lain, semakin kecil porositas *burner* (porositas: SF < CM < MF), semakin tinggi emisi CO dan semakin rendah efisiensi *thermal*nya. Berdasarkan efisiensi *thermal*, *turn-down ratio* dan emisi NO_x dan CO sesuai dengan standar industri Korea dan Eropa, tipe *burner* yang paling tepat untuk boiler kondensasi adalah *burner* MF. Dengan *equivalence ratio* optimalnya adalah 0,80 untuk berbagai faktor eksperimental yang dipertimbangkan dalam penelitian ini.

Mishara (2015) Melakukan penelitian mengenai kinerja kompor LPG menggunakan *two-layer porous radiant burner*. Kinerja dalam hal distribusi suhu, thermal efisiensi, dan CO dan NO emisi dari kompor memasak LPG skala menengah (5-10 kW) dengan dua-lapisan *porous radiant burner* sudah diselidiki secara eksperimental. Sebagai perbandingan, studi parametrik yang

sama dilakukan terhadap *conventional burner* yang bekerja dalam modus pembakaran *free flame*. Suhu aksial maksimum di *porous radiant burner* adalah sekitar 200°C lebih rendah dibandingkan dengan *conventional burner*. Namun distribusi temperatur radial dari *porous radiant burner* itu hampir seragam. Pada daya 5 kW, efisiensi thermal dari *porous radiant burner* pada *equivalence ratio* 0,56 adalah 58%, sementara efisiensi thermal untuk *conventional burner* adalah 45%. Untuk emisi CO dan NO_x yang dihasilkan oleh *porous radiant burner* jauh lebih rendah dibandingkan dengan *conventional burner*.

2.2. Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya dengan bantuan energi aktivasi. Energi aktivasi yang dimaksud disini adalah panas atau energi yang dipakai untuk mengkatifkan molekul – molekul bahan bakar. Pada pembakaran kontinyu umumnya energi aktivasi diambil dari panas hasil pembakaran melalui radiasi seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Ilustrasi proses pembakaran
Sumber: Wardana (2008,p.3)

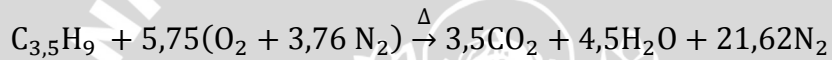
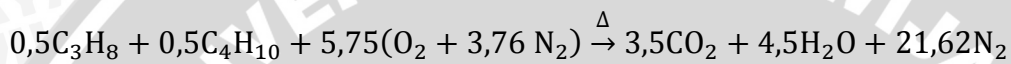
Pembakaran sempurna atau yang bisa juga disebut pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasi, bereaksi secara kimia untuk menghasilkan produk pembakaran yang berupa CO₂, H₂O dan N₂ untuk bahan bakar hidrokarbon, dimana N₂ merupakan unsur inert gas yaitu tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun dengan oksigen.

Agar pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran sempurna, maka semua atom C harus bereaksi menjadi CO_2 dan semua H_2 akan bereaksi menjadi H_2O . Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar hidrokarbon (C_xH_y) dengan udara dituliskan dalam persamaan kimia berikut :



Zat – zat yang berada disebelah kiri panah horizontal “ \rightarrow ” disebut reaktan. Disebelah kanan panah adalah hasil reaksi atau produk. Tanda Δ diatas panah berarti reaksi menggunakan atau memerlukan kalor.

Pada penelitian ini digunakan bahan bakar LPG yang komposisinya 50% Butana dan 50% Propana. Sehingga persamaan reaksi pembakarannya dapat ditulis :



2.3 Energi panas

Panas didefinisikan sebagai suatu bentuk energi yang ditransfer antara dua sistem (atau sistem dengan lingkungannya) berdasarkan perbedaan suhu. Artinya, interaksi energi panas hanya terjadi karena perbedaan suhu. Oleh karena itu tidak mungkin ada transfer panas antara dua sistem pada suhu yang sama. Besarnya energi panas atau kalor dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

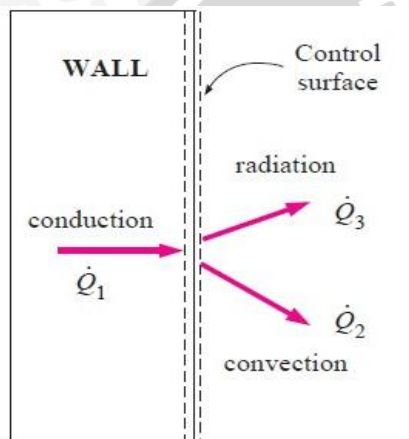
- Q = Besarnya energi panas (J)
- m = Besarnya massa (kg)
- C_p = Kalor spesifik (J/kg °C)
- ΔT = Perubahan temperatur (°C)

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

2.4 Perpindahan Panas

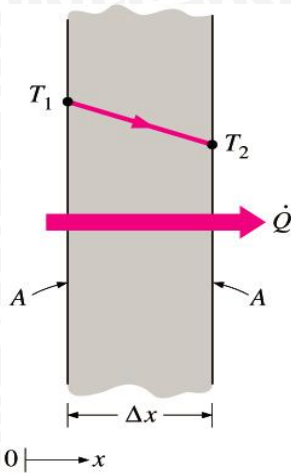
Energi panas akan selalu berpindah dari suatu medium temperatur tinggi ke medium yang temperaturnya lebih rendah, dan perpindahan panas ini akan berhenti apabila kedua medium memiliki temperatur yang sama. Besar kecilnya panas yang berpindah di pelajari dalam termodinamika. Sedangkan ilmu yang berhubungan dengan penentuan laju perpindahan energi panas adalah perpindahan panas. Perpindahan panas dibagi menjadi tiga, yaitu perpindahan panas radiasi, konveksi dan konduksi.



Gambar 2.2 Perpindahan panas pada suatu dinding
Sumber : Cengel (2003,p.12)

2.4.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi panas melalui suatu medium atau antar medium yang bersinggungan tanpa disertai adanya perpindahan medium. Konduksi terjadi pada benda benda padat yang dapat menghantarkan energy panas. Konduksi yang terjadi pada zat padat tidak disertai perpindahan medium, dan medium hanya mengalami gerakan molekul akibat perpindahan panas yang disebabkan kenaikan temperature. Interaksi antar molekul ini yang menyebabkan perpindahan energi berupa energi panas dari satu atom ke atom yang lain.



Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi
 Sumber : Cengel (2003,p.18)

Laju konduksi panas melalui lapisan bidang sebanding dengan perbedaan suhu di seluruh lapisan, bahan medium dan daerah perpindahan panas, tapi berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan, sehingga dapat dinyatakan

$$\dot{Q}_{cond} = k A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (2-2)$$

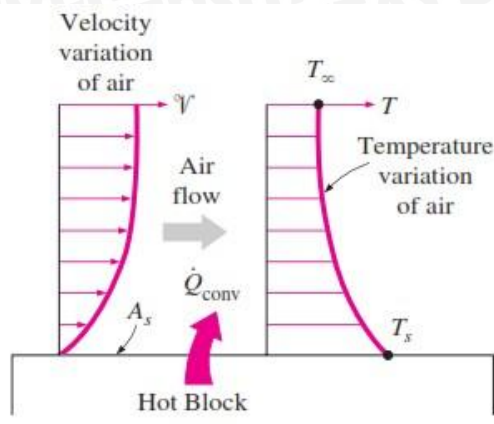
Dimana :

- \dot{Q}_{cond} : Laju perpindahan kalor konduksi (W)
- k : Konduktivitas thermal bahan (W/m°C)
- A : Luas permukaan perpindahan panas (m²)
- ΔT : Perbedaan tempertur (°C)
- Δx : Ketebalan permukaan pada arah x (m)

2.4.2 Konveksi

Perpindahan energi panas melewati suatu medium yang disertai pergerakan medium tersebut untuk saling menghantarkan energi disebut konveksi. Konveksi adalah perpaduan antara konduksi dan gerakan dari fluida, dimana panas yang sudah diterima oleh fluida yang bergerak bebas dihantarkan dengan gerakan dari fluida tersebut dengan fluida disekitarnya. Energi yang diterima oleh fluida tersebut akan diteruskan dari titik yang bertemperatur tinggi menuju titik yang bertemperatur rendah dengan mentransfer energy panas hingga temperature mencapai kondisi stabil





Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi
 Sumber : Cengel (2003,p.26)

$$\dot{Q}_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

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

Semakin cepat pergerakan fluida, maka perpindahan panas konveksi juga akan semakin besar. Dengan tidak adanya gerakan fluida maka perpindahan kalor yang terjadi merupakan murni perpindahan kalor konduksi.

Konveksi dapat dibagi menjadi dua :

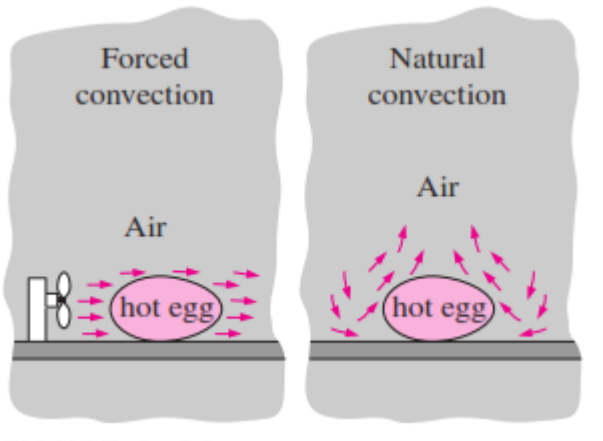
1. Konveksi Alami

Perpindahan Panas konveksi yang terjadi akibat perbedaan densitas yang diakibatkan oleh gradient temperature. Hal ini sesuai dengan proses alamiah.

2. Konveksi Paksa

Perpindahan Panas akibat adanya kerja atau energy dari luar, sehingga fluida yang membawa energy panas bergerak sesuai dengan gerakan kerja dari luar.

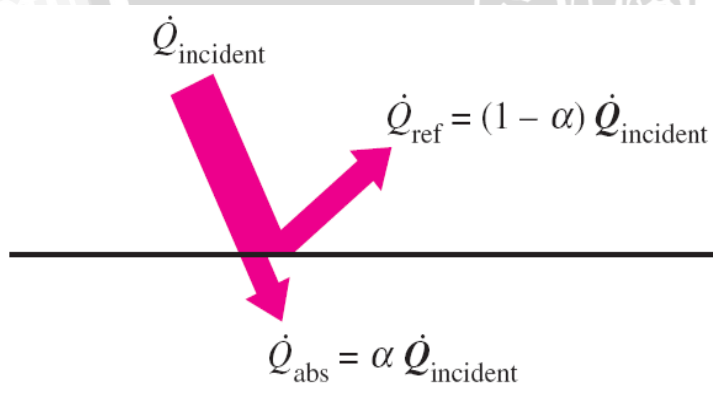




Gambar 2.5 Ilustrasi konveksi paksa dan konveksi natural
Sumber : Cengel (2003,p.26)

2.4.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan dalam konfigurasi elektronik dari atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, transfer energi oleh radiasi tidak memerlukan media. Bahkan, transfer energi dengan radiasi adalah yang paling cepat (dengan kecepatan cahaya) dan tidak mengalami pelemahan dalam ruang hampa. Energy yang dipancarkan akan dipantulkan atau diserap ketika mengenai objek. Radiasi dipancarkan oleh suatu objek akibat temperatur objek tersebut.



Gambar 2.6 Perpindahan panas radiasi
Sumber : Cengel (2003,p.28)

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 :

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

\dot{Q}_{emit} : Laju perpindahan panas radiasi (Watt)

ε : Emisivitas dipermukaan benda; $0 \leq \varepsilon \leq 1$

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

Nilai emisivitas (ε) berada dalam kisaran $0 \leq \varepsilon \leq 1$, yang diukur dari seberapa dekat permukaan mendekati sebuah benda hitam yang dimana nilainya $\varepsilon = 1$.

2.5 Bahan Bakar

Secara umum bahan bakar dapat digolongkan ke dalam dua kelompok besar yaitu bahan bakar primer dan bakar sekunder. Bahan bakar primer adalah bahan bakar yang dapat langsung digunakan. Contohnya kayu dan gas alam. Sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang tidak dapat langsung digunakan, sehingga untuk dapat menggunkannya bahan bakar tersebut harus diolah terlebih dahulu. Contoh bahan bakar sekunder yakni bensin, minyak tanah (kerosin) dan minyak diesel atau solar. Namun karena persediaan minyak tanah (kerosin) yang semakin menipis, kebutuhan energi rumah tangga pada umumnya dipenuhi oleh bahan bakar gas (LPG).

2.6 LPG (Liquid 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°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 $T \leq 1^{\circ}\text{C}$. 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 Air-Fuel Ratio

Air-Fuel Ratio (AFR) adalah perbandingan antara massa udara dengan massa bahan bakar atau laju aliran massa udara dengan laju aliran massa bahan bakar. Rumus atur untuk mengetahui nilai *Air-Fuel Ratio* (AFR) adalah sebagai berikut :

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana :

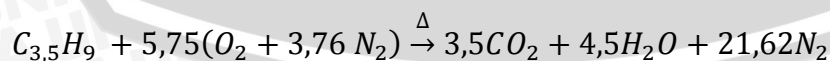
m_a = massa udara

m_f = massa bahan bakar

\dot{m}_a = massa laju aliran udara

\dot{m}_f = massa laju aliran bahan bakar

Besarnya nilai AFR stokiometri pada LPG (50% Butana dan 50% Propana) dari persamaan reaksi pembakaran berikut adalah :



$$AFR = \frac{m_a}{m_f}$$

$$\begin{aligned} AFR_{\text{stoich}} &= \frac{5,75 \times ((16 \times 2) + (3,76 \times 14 \times 2))}{0,5 \times ((12 \times 3) + (1 \times 8)) + 0,5 \times ((12 \times 4) + (1 \times 10))} \\ &= \frac{5,75 \times (32 + 105,28)}{0,5 \times (36 + 8) + 0,5 \times (48 + 10)} \end{aligned}$$

$$= \frac{789,36}{51} = \frac{15,47}{1}$$

Menghitung volume udara dan LPG

- Massa jenis udara adalah $0,0012 \text{ gr/cm}^3$
- Massa jenis LPG (50% propana dan 50% butana) adalah $0,002155 \text{ gr/cm}^3$

Sehingga volumenya

$$V_{\text{udara}} = \frac{m_{\text{udara}}}{\rho_{\text{udara}}} \dots\dots\dots (2-6) \qquad V_{\text{LPG}} = \frac{m_{\text{LPG}}}{\rho_{\text{LPG}}} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$= \frac{789,36}{0,0012} = 657.800 \text{ cm}^3 \qquad = \frac{51}{0,002155} = 23.665,89 \text{ cm}^3$$

Sehinga perbandingan volume antara LPG dan udara dituliskan sebagai berikut :

$$V_{\text{udara}} : V_{\text{LPG}}$$

$$657.800 \text{ cm}^3 : 23.665,89 \text{ cm}^3$$

$$27,57 \text{ cm}^3 : 1 \text{ cm}^3$$

$$27,57 \text{ ml} : 1 \text{ ml}$$

$$27,57 \text{ l} : 1 \text{ l}$$

2.8 Equivalence ratio (Φ)

Equivalence ratio (Φ), adalah perbandingan antara AFR stoikiometri terhadap AFR aktual. Jika nilai AFR stoikiometri sama dengan nilai AFR aktual ($\Phi = 1.0$), maka campuran berada pada kondisi stoikiometri (*stoichiometry mixtures*). Jika nilai AFR stoikiometri lebih kecil dari nilai AFR aktual ($\Phi < 1.0$), maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran atau biasa disebut dengan campuran miskin (*lean mixtures*). Sedangkan jika nilai AFR stoikiometri lebih besar dari nilai AFR aktual ($\Phi > 1.0$), maka tidak cukup terdapat udara pada sistem atau biasa disebut dengan campuran kaya (*rich mixtures*). Rumus atur untuk mengetahui nilai *equivalence ratio* (Φ):

$$\Phi = \frac{AFR_{\text{stoik}}}{AFR_{\text{aktual}}} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana :

AFR stoikiometri = AFR aktual ($\Phi = 1.0$) (*stoichiometry mixtures*)

AFR stoikiometri > AFR aktual ($\Phi > 1.0$) (*rich fuel mixtures*)

AFR stoikiometri < AFR aktual ($\Phi < 1.0$) (*lean fuel mixtures*)

2.9 Kompor Gas

Kompor gas adalah sebuah perangkat untuk menghasilkan api yang digunakan untuk memanaskan produk dengan menggunakan bahan bakar gas seperti asetilena, gas alam atau propana. Beberapa kompor memiliki saluran masuk udara yang digunakan untuk mencampur bahan bakar gas dengan udara, untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. *Conventional Burner* dan *Porous Radiant Burner* merupakan beberapa jenis dari kompor gas.

2.9.1 *Conventional Burner* (Kompor Gas Konvensional)

Kompor gas jenis ini adalah kompor gas yang umumnya digunakan oleh masyarakat di Indonesia. Pada kompor gas biasa (*conventional burner*), pembakarannya ditandai dengan *free flame combustion* (proses pembakarannya terjadi di lingkungan gas). Karena gas memiliki konduktivitas termal dan *opacity* yang rendah sehingga kontribusi perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dari gas yang terbakar terhadap gas yang tidak terbakar diabaikan. Oleh sebab itu konveksi merupakan perpindahan panas yang paling dominan. Ciri khas pembakaran ini (*free flame combustion*) yakni terdapatnya zona reaksi yang tipis dan gradien temperatur yang besar. Kondisi inilah menyebabkan inefisiensi sistem pembakaran sehingga *thermal efficiency* yang dihasilkan rendah dan pembentukan polusi atau emisi karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x) tinggi.

2.9.2 *Porous Radiant Burner* (Kompor Gas Bara Api)

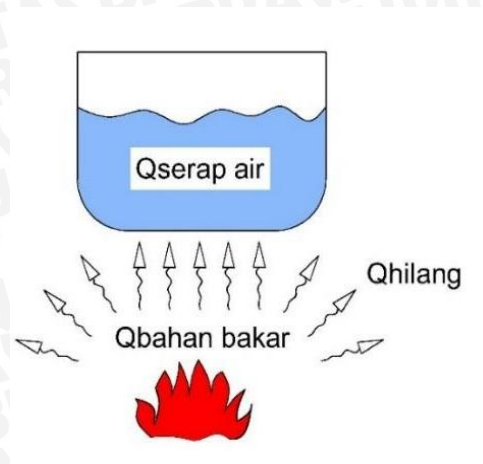
Pada PRB, mekanisme perpindahan panas berbeda dari kompor konvensional, karena pembakaran terjadi di dalam rongga dari media inert berpori yang konduksi dan radiasinya sangat tinggi, dimana media inert berpori dipanaskan secara konveksi oleh gas yang mengalir. Medium berpori yang panas itu akan mensirkulasikan kembali panas, karena memancarkan panas ke segala arah dan menyebabkan *preheats* campuran udara-bahan bakar yang masuk.

Hardesty dan Weinberg menunjukkan bahwa sirkulasi kembali panas pembakaran memperpanjang batasan api yang mudah terbakar melebihi dari api konvensional. Api ini, disebut sebagai "*excess enthalpy flames*", yang bisa mencapai suhu puncak yang lebih tinggi daripada suhu api adiabatik teoritis. Karena campuran miskin bisa dibakar, emisi CO akan rendah, dan menghasilkan suhu global yang rendah yang menekan produksi NO_x. Dengan adanya tiga modus perpindahan panas yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi pada PRB menyebabkan perpindahan panas yang lebih baik dan distribusi temperatur yang

seragam. Hal inilah yang dapat menyebabkan *thermal efficiency* yang dihasilkan oleh *porous radiant burner* (kompor gas bara api) lebih tinggi.

2.10 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 Ilustrasi proses pemanasan air

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:

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$Q_{\text{bahan bakar}} = Q_{\text{serap air}} + Q_{\text{hilang}}$$

$$m_{\text{gas}} \times t \times \text{LHV}_{\text{LPG}} = m_{\text{Air}} \times C_{p\text{Air}} \times (T_2 - T_1) + Q_{\text{hilang}} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dimana $Q_{\text{serap air}}$ dapat diketahui dengan

$$Q_{\text{serap air}} = m_{\text{Air}} \times C_{p\text{Air}} \times (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2-10)$$

Dengan:

m_{Air} : Massa air (kg)



C_{pAir} : Panas Spesifik Air (4,2 kJ/kg^oK)

T_2 : Temperatur akhir air (°K)

T_1 : Temperatur awal air (°K)

$Q_{bahan\ bakar}$ adalah massa alir dari bahan bakar yang digunakan dikali LHV bahan bakar gas tersebut dikali waktu.

$$Q_{bahan\ bakar} = \dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan :

\dot{m}_{gas} : Massa alir LPG (kg/s)

Massa alir LPG : $\rho_{LPG} \times Q_{LPG}$ (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 (2-9) dengan Q_{hilang} yang ada di sisi kanan dengan $Q_{bahan\ bakar}$, maka persamaannya menjadi :

$$Q_{hilang} = (\dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG}) - (m_{Air} \times C_{pAir} \times (T_2 - T_1)) \dots\dots\dots (2-12)$$

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

$$\eta = \frac{Q_{serap\ air}}{Q_{bahan\ bakar}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\eta = \frac{m_{Air} \times C_{pAir} \times (T_2 - T_1)}{\dot{m}_{gas} \times t \times LHV_{LPG}} \times 100\% \dots\dots\dots (2-14)$$

2.11 Hipotesis

Dengan penambahan debit udara pada debit bahan bakar yang konstan, nilai *air-fuel ratio* akan meningkat. Nilai *air-fuel ratio* akan mempengaruhi besarnya nilai *equivalence ratio* (Φ). Meningkatnya nilai *air-fuel ratio* hingga nilai *equivalence ratio* sama dengan 1.0 (stoikiometri), bahan bakar akan semakin kaya udara, sehingga

pembakarannya akan semakin sempurna. Pembakaran yang sempurna akan meningkatkan efisiensi, karena semua energi kalor pada bahan bakar dapat dirubah sepenuhnya menjadi energi panas. Akan tetapi, jika nilai *air-fuel ratio* terus meningkat melebihi kondisi stoikiometrinya, maka nilai *equivalence ratio* akan kurang dari 1.0 ($\Phi < 1.0$). Sehingga efisiensinya akan berkurang karena udara pada campuran terlalu banyak. Hal ini akan menyebabkan energi pembakaran yang dihasilkan semakin berkurang karena terserap oleh udara yang berlebih.



