

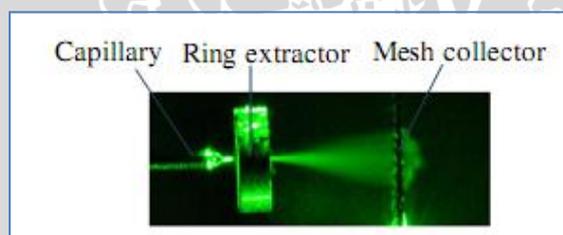
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

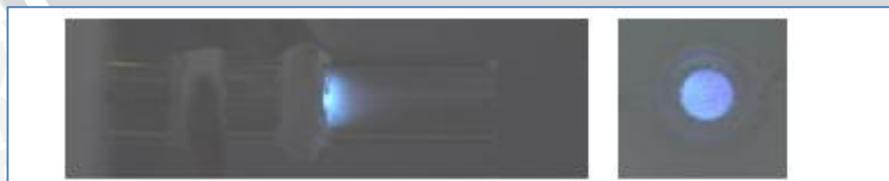
2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya

Yuliati, *et al*, (2012) telah melakukan eksperimen yang mempelajari kemungkinan terjadinya pembakaran bahan bakar cair yang stabil pada *meso-scale combustor*. *Meso-scale combustor* yang digunakan berbentuk *tube* berdiameter 3,5 mm didalamnya dipasangkan *wire mesh* sebagai media pembantu *heat recirculation* sekaligus sebagai *flame holder*. Mereka melakukan pengujian dengan bahan bakar liquid campuran antara 70% n-heptana dan 30% etanol, bahan bakar cair tersebut kemudian diatomisasi menjadi *droplet* menggunakan *electrospray* (Gambar 2.1).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pembakaran bahan bakar cair pada *meso-scale combustor* dapat terjadi secara stabil dengan debit bahan bakar 1 ml/jam (Gambar 2.2). Dari penelitian didapat kesimpulan bahwa pengaplikasian *wire mesh* pada *combustor* memiliki pengaruh yang besar terhadap kestabilan api. Selain itu debit bahan bakar yang digunakan juga harus sangat rendah, karena apabila debit bahan bakar terlalu tinggi dapat mengakibatkan permukaan *combustor* basah dan akhirnya akan mematikan api.



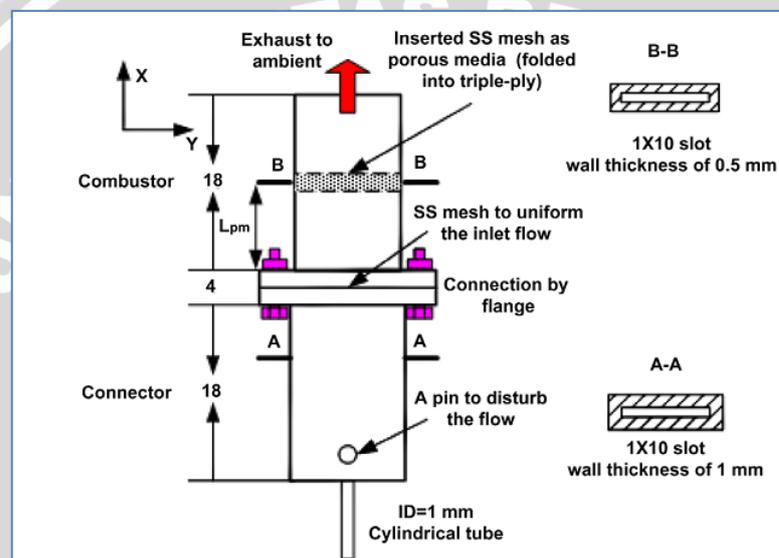
Gambar 2.1 Proses atomisasi bahan bakar cair menggunakan *electrospray*
Sumber : Yuliati, *et al*, (2012)



Gambar 2.2 pembakaran bahan bakar cair pada *Meso-scale combustor* dengan menggunakan *electrospray*
Sumber : Yuliati, *et al*, (2012)

Li, *et al*, (2010) telah melakukan penelitian secara eksperimental yang membandingkan proses pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan dan tanpa adanya media berpori didalamnya. Penelitian tersebut dilakukan pada *combustor*

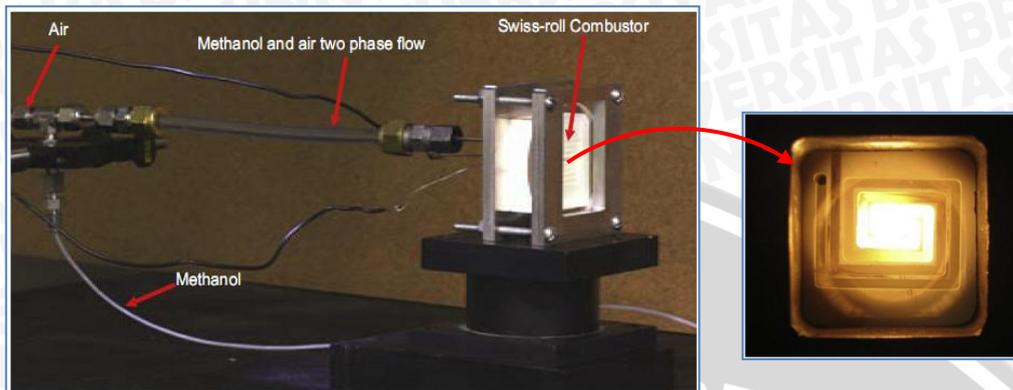
berbentuk silinder dengan diameter dalam 3 mm (skema *combustor* dapat dilihat pada Gambar 2.3). Bahan bakar yang digunakan pada penelitian tersebut ada dua macam yaitu hidrogen (H_2 (g)) dan propana (C_3H_8 (g)). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan diaplikasikannya media berpori pada suatu *combustor* dapat secara signifikan meningkatkan laju perpindahan panas dari api hasil pembakaran ke dinding *combustor*, karena luas permukaan kontak akan lebih besar. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya radiasi energi panas yang terpancar dari dinding *combustor*. Sehingga sekaligus dapat meningkatkan efisiensi *combustor* ketika diaplikasikan untuk sistem pembangkit *thermophotovoltaic*.



Gambar 2.3 Desain *meso-scale combustor* dengan menggunakan *porous media*
Sumber : Li, *et al*, (2010)

Vijayan, *et al*, (2011) telah melakukan penelitian mengenai *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang digunakan pada penelitian tersebut adalah methanol, pembakaran berlangsung dengan bantuan udara sebagai *oxydizer*. *Combustor* yang digunakan berjenis *swiss-roll* yang didesain berdasarkan konsep *heat recirculation* sehingga bahan bakar yang belum terbakar mengalami proses *preheated* oleh panas dari pembakaran yang berlangsung melalui dinding *combustor*. Dinding *combustor* dilapisi oleh bahan keramik zirconium phosphate yang memiliki konduktivitas termal yang rendah (0,8 W/m.K) guna meminimalisir *heat loss* dari dinding *combustor* ke lingkungan sekitar. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pembakaran bahan bakar cair (metanol) pada *meso-scale combustor* dapat dilakukan dengan baik. Kunci berlangsungnya pembakaran yang terjadi adalah proses penguapan bahan bakar akibat panas dari dinding *combustor*,

proses penguapan mempermudah pencampuran udara dan bahan bakar sehingga pembakaran dapat terjadi dengan baik.



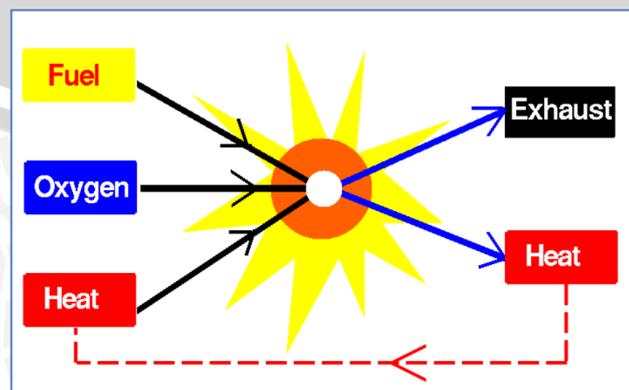
Gambar 2.4 Instalasi *meso-scale combustor* dan reaksi pembakaran metanol yang terjadi didalamnya.

Sumber : Vijayan, *et al*, (2011)

2.2 Pembakaran

Pembakaran merupakan proses reaksi kimia beruntun yang melibatkan bahan bakar, oksigen dan energi aktivasi. Reaksi pembakaran menghasilkan produk berupa energi termal (panas) yang seringkali disertai dengan perpendaran cahaya berupa api. Bahan bakar pada reaksi pembakaran dapat berupa senyawa organik maupun anorganik, akan tetapi senyawa tersebut harus memiliki struktur dasar hidrokarbon (C_xH_y).

Energi aktivasi yang digunakan pada proses pembakaran umumnya berupa panas, panas tersebut akan mengaktifkan molekul penyusun bahan bakar, sehingga molekul tersebut akan melepaskan elektron pada kulit terluarnya dan berikatan membentuk molekul baru dengan oksidator. Secara sederhana seperti itulah reaksi pembakaran terjadi, ilustrasi secara sederhana yang menjelaskan proses pembakaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber : Anonymous 1

2.2.1 Reaksi Kimia Pada Proses Pembakaran

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya komponen penyusun reaksi kimia pembakaran dibagi menjadi tiga yaitu bahan bakar, oksigen dan energi aktivasi. Perbedaan kadar komposisi pada masing - masing komponen tersebut berpengaruh pada bagaimana reaksi tersebut terjadi. Reaksi kimia yang terjadi pada proses pembakaran membawa dampak pada fenomena fisiknya seperti perpindahan panas dan perpindahan massa. Secara sederhana rumus reaksi pembakaran dituliskan sebagai berikut.



Persamaan diatas merupakan rumus reaksi pembakaran ideal, namun pada faktanya pembakaran sempurna sangat sulit terjadi, karena kebanyakan reaksi pembakaran yang terjadi menggunakan oksidator (oksigen) dari udara bebas. Kandungan udara bebas tidak hanya oksigen saja, melainkan banyak gas - gas lain yang terkandung didalamnya. Pada umumnya komposisi udara bebas yang kering dan bersih terdiri atas berbagai gas seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Udara Kering

Udara	Proporsi Volume (%)		Proporsi Massa (%)	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO ₂	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber : Wardana (2008)

Dari tabel 2.1 diatas apabila kandungan gas - gas lain diabaikan karena persentasenya terlalu kecil, maka dapat diasumsikan udara hanya terdiri dari 79% Nitrogen (N₂) dan 21% Oksigen (O₂) saja. Dengan demikian untuk setiap penggunaan

1 mol O_2 yang terkandung di udara pada suatu reaksi pembakaran, secara otomatis akan mencakup penggunaan $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$ mol N_2 .

Suatu keadaan dimana campuran bahan bakar dan udara berada pada jumlah yang tepat untuk beraksi secara keseluruhan disebut keadaan stoikiometri. Pada reaksi pembakaran hidrokarbon, keadaan stoikiometri dapat dicapai apabila seluruh atom C dan H pada hidrokarbon berikatan seluruhnya dengan O_2 membentuk CO_2 dan H_2O . Dengan berdasarkan pada perhitungan di paragraf sebelumnya maka rumus stoikiometri pembakaran hidrokarbon dan udara dapat dituliskan sebagai berikut.



Suatu reaksi pembakaran tidak selalu berlangsung seperti rumus diatas, kebanyakan reaksi pembakaran justru menghasilkan gas - gas buang seperti NO_x (Nitrogen oksida) atau CO (karbon monoksida) sebagai produknya.

NO_x baik berupa NO (Nitrogen Monoksida) maupun NO_2 (Nitrogen Dioksida) terbentuk karena kelebihan oksigen pada reaksi pembakaran sehingga oksigen sisa yang tidak berikatan dengan atom C (karbon) terikat pada molekul nitrogen. Sebaliknya molekul CO terbentuk karena kurangnya oksigen pada reaksi pembakaran sehingga mengakibatkan setiap atom C hanya berikatan dengan satu atom oksigen saja. Pembentukan gas - gas tersebut berdampak pada penurunan efisiensi pembakaran serta berpotensi menyebabkan polusi udara.

2.2.2 Air fuel Ratio (AFR)

Air fuel Ratio (AFR) adalah rasio perbandingan antara massa atau mol udara dan bahan bakar yang terjadi dalam suatu reaksi. Pada reaksi pembakaran AFR memegang peranan penting dalam menentukan jalannya proses pembakaran tersebut, selain itu AFR juga berperan dalam pembentukan nyala api dan hasil gas buang dari proses pembakaran yang berlangsung. Persamaan AFR pada campuran stoikiometrik dituliskan dalam rumus sebagai berikut:

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}\right)_{stoic} \quad 2-1$$

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right)_{stoic} \quad 2-2$$

(Wardana, 2008:58-59)

Keterangan :

- $(AFR)_{stoic}$ = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik
- N_{udara} = Jumlah mol udara
- $N_{bahan\ bakar}$ = Jumlah mol bahan bakar
- M_{udara} = Massa udara
- $M_{bahan\ bakar}$ = Massa bahan bakar

Dengan berdasarkan pada persamaan (2-2) tersebut maka dapat dihitung nilai AFR untuk bahan bakar heksana (C_6H_{14}) pada kondisi stoikiometriksnya, perhitungannya menjadi sebagai berikut:

Diketahui:



- Massa atom relatif (Ar)

$$C = 12 ; H = 1 ; O = 16 ; N = 14$$

- Rumus stoikiometri heksana (C_6H_{14}) berdasarkan massa

$$AFR = \frac{9,5 \times ((2 \times 16) + (3,76 \times 14 \times 2))}{(12 \times 6) + (14 \times 1)} = \frac{1304,16}{86} = 15,1646 \frac{kg\ udara}{kg\ bahan\ bakar}$$

- Dari hasil perhitungan AFR diatas dapat dicari perbandingan antara heksana(*liquid*) dan udara

$$AFR = 15,1646 \frac{kg\ udara}{kg\ bahan\ bakar}$$

$$1\ kg\ (heksana) : 15,1646\ kg\ (udara)$$

$$\frac{1\ gr\ (heksana)}{\rho_{heksana(l)} = 0,659\ gr/ml} : \frac{15,1646\ gr\ (udara)}{\rho_{udara} = 0,001185\ gr/ml}$$

$$1,5174\ ml\ (heksana) : 12797,1308\ ml\ (udara)$$

(Perry, 1997; Anonymous 2)

- Nilai tersebut adalah perbandingan stoikiometri antara volume heksana dan volume udara untuk terjadinya reaksi pembakaran. Sehingga untuk perbandingan debitnya adalah sebagai berikut

$$\frac{1,51745 \text{ ml (heksana)} : 12797,1308 \text{ ml (udara)}}{1,51745 \text{ hr}}$$

$$1 \text{ ml/hr} : 8433,3129 \text{ ml/hr}$$

$$1 \text{ ml/hr} : 140,5552 \text{ ml/min}$$

2.2.3 Rasio Ekuivalen (ϕ)

Pengertian dari rasio ekuivalen (ϕ) adalah perbandingan dari nilai AFR stoikiometri dengan AFR aktualnya, rumus rasio ekuivalen dituliskan sebagai berikut.

$$\phi = \frac{(AFR)_{stoic}}{(AFR)_{aktual}} \quad 2-4$$

(Wardana, 2008:65)

Keterangan :

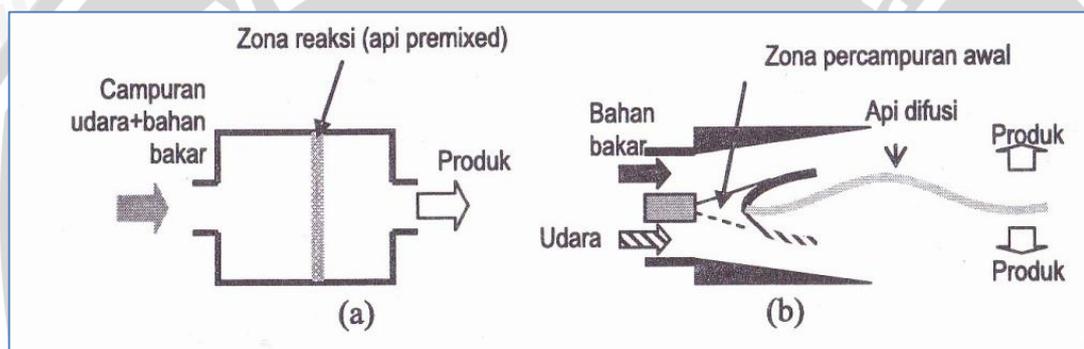
- ϕ = Rasio ekuivalen
- AFR_{stoic} = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik
- AFR_{aktual} = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi aktual

Perhitungan rasio ekuivalen berfungsi untuk menentukan jenis campuran udara dan bahan bakar yang terjadi pada reaksi pembakaran. Jenis campuran udara dan bahan bakar diklasifikasikan menjadi tiga jenis tergantung dari nilai rasio ekuivalennya, ketiga jenis tersebut antara lain :

- $\phi > 1$ disebut campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*), dalam kondisi ini jumlah mol bahan bakar yang terkandung didalam campuran melebihi jumlah mol yang mampu diikat oleh oksigen secara keseluruhan.
- $\phi = 1$ merupakan campuran stoikiometrik dimana jumlah oksigen dan bahan bakar berada di proporsi yang tepat untuk berikatan seluruhnya.
- $\phi < 1$ disebut campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*), dalam kondisi ini ketersediaan oksigen melimpah namun tidak ada cukup bahan bakar untuk bereaksi.

2.3 Klasifikasi Pembakaran

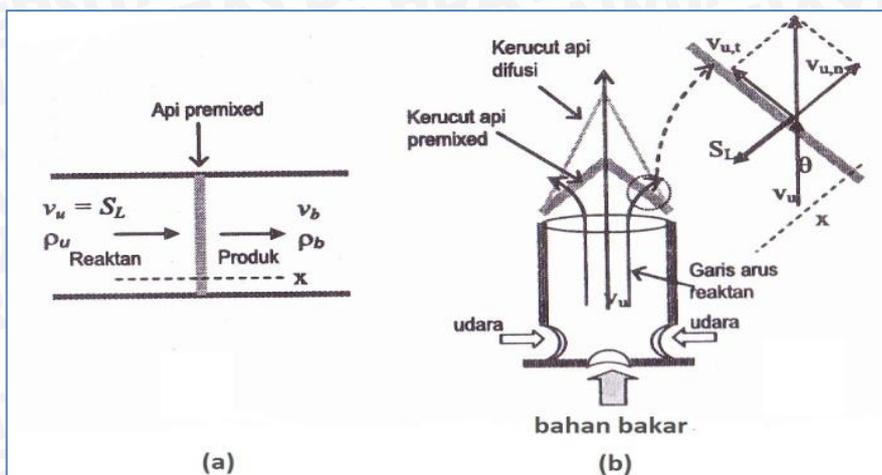
Proses pembakaran apabila diklasifikasikan menurut cara reaktan terbakar di zona reaksi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi. Pembakaran *premixed* merupakan proses pembakaran dimana udara dan bahan bakar bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum dibangkitkan reaksinya oleh energi aktivasi (Gambar 2.6a). Sebaliknya pada pembakaran difusi bahan bakar dialirkan ke ruang yang dipenuhi udara, pada saat yang bersamaan diberikan energi aktivasi untuk mengaktifkan reaksi, sehingga proses pembakaran berlangsung bersamaan dengan pencampuran udara dan bahan bakar (Gambar 2.6b). Pada penelitian ini proses pembakaran yang digunakan pada *meso-scale combustor* adalah pembakaran *premixed*.



Gambar 2.6 (a) Pembakaran *premixed* (b) Pembakaran difusi
Sumber : Wardana, 2008

2.3.1 Pembakaran *Premixed*

Api *premixed* sendiri sebenarnya dibagi lagi menjadi dua jenis menurut jenis alirannya yaitu api *premixed* laminar dan api *premixed* turbulen. Pada laporan penelitian ini akan lebih dibahas mengenai api *premixed* laminar karena api *premixed* laminar yang digunakan pada saat penelitian. Bentuk api *premixed* laminar yang paling khas adalah api bunsen dan api yang merambat di dalam tabung *combustor*. Kedua jenis api *premixed* laminar tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 (a) Pembakaran *premixed* pada tube (b) Pembakaran bunsen
Sumber : Wardana, 2008

Bentuk api *premixed* laminar yang merambat didalam tabung *combustor* berbentuk lembar datar tipis dan merambat tegak lurus ke arah reaktan. Sedangkan pada api bunsen, api *premixed* berbentuk kerucut dengan dinding kerucut merupakan permukaan api (Wardana, 2008).

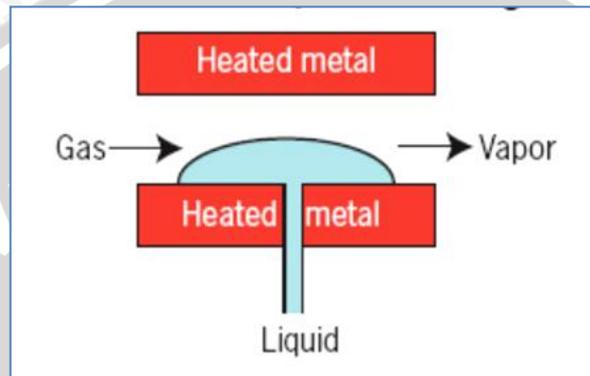
Pada gambar 2.7 (a) diatas dapat dilihat bahwa vektor kecepatan rambatan api *premixed* (S_L) di dalam tabung sejajar dengan vektor kecepatan reaktan (V_u) dan vektor kecepatan produk (V_b). Sedangkan untuk api *premixed* bunsen, garis arus reaktan membelok ke dekat api akibat perubahan densitas gas dan mengalir ke luar tegak lurus dengan permukaan api. Penurunan densitas gas yang terjadi sekitar 10 kali lebih rendah akibat kenaikan suhu yang cukup signifikan. Karena sifat fluida yang cenderung mengalir dari densitas tinggi ke rendah maka gas akan berbelok menuju api secara tegak lurus. Penguraian vektor pada api *premixed* bunsen dapat dilihat pada gambar 2.7 (b).

Keuntungan dari pembakaran *premixed* adalah efisiensinya yang lebih tinggi dari pembakaran difusi. Hal ini dikarenakan reaktan telah bercampur terlebih dahulu dengan udara sebelum memasuki daerah reaksi, sehingga perbandingan bahan bakar dan udara bisa diatur sampai titik stoikiometrinya. Seperti yang telah diketahui pembakaran pada kondisi stoikiometri membuat bahan bakar bereaksi seluruhnya sehingga tidak ada bahan bakar yang terbentuk pada produk hasil pembakaran.

2.4 Pembakaran Bahan Bakar Cair

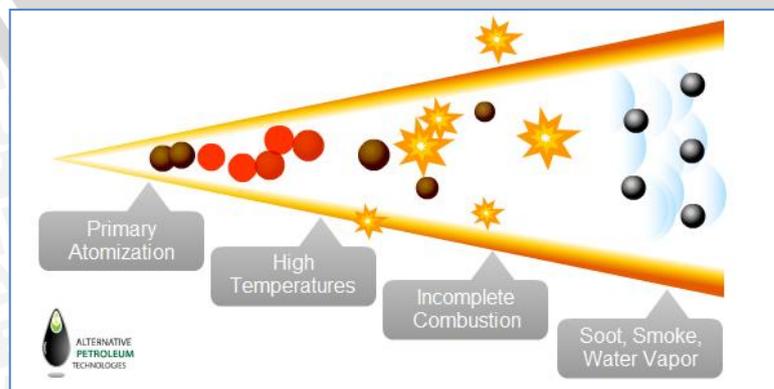
Pembakaran bahan bakar cair selalu diawali dengan proses penguapan terlebih dahulu sebelum terjadi reaksi pembakaran. Artinya fase dari bahan bakar harus dirubah dulu dari cair menjadi gas atau dengan kata lain diuapkan. Proses penguapan bahan

bakar cair dapat melalui dua cara. Yang pertama dengan memperluas bidang kontak fluida dengan sumber panas, cara seperti ini disebut metode *liquid film* dimana pada dasarnya membuat fluida pada kondisi selebar dan setipis mungkin sehingga bidang kontak fluida dengan sumber panas semakin lebar dan transfer panas dapat terjadi dengan baik dan penguapan lebih cepat terjadi. Sumber panas yang digunakan pada metode ini biasanya berupa permukaan dinding yang dipanaskan. Untuk lebih jelasnya pada Gambar 2.8 berikut adalah ilustrasi metode *liquid film* secara sederhana.



Gambar 2.8 Penguapan dengan metode *liquid film*
 Sumber : Anonymous 3

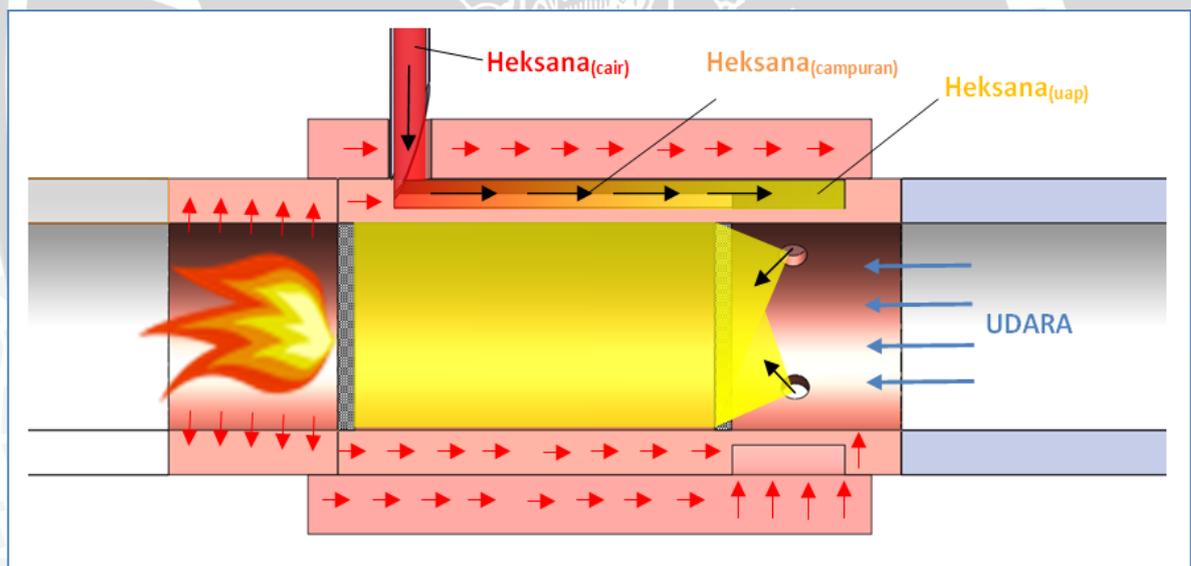
Cara yang kedua disebut atomisasi *droplet*, tujuannya hampir sama dengan metode *liquid film* yaitu memperluas bidang kontak permukaan fluida. Bedanya metode atomisasi *droplet* memperluas bidang kontak permukaan fluida dengan cara membuat fluida pada kondisi terpisah - pisah hingga ukuran mikro (*droplet*) dengan demikian luas bidang kontak antara fluida dan lingkungan sebagai sumber panas akan semakin besar, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan bahan bakar akan semakin cepat, karena kalor langsung tersebar keseluruh permukaan *droplet* tanpa perlu meresap kedalamnya. Gambar 2.9 berikut adalah ilustrasi atomisasi *droplet*.



Gambar 2.9 Penguapan dengan metode atomisasi *droplet*
 Sumber : Anonymous 4

Pembakaran bahan bakar cair yang terjadi di penelitian ini adalah dengan metode penguapan, dimana media penguapannya berupa kanal pada dinding di sisi luar *combustor*. Penguapan menggunakan sistem ini termasuk pada metode *liquid film*. Karena pada sistem ini bahan bakar cair (heksana) mengalir melalui kanal yang tipis (0,5 mm) dan kemudian menerima panas dari dinding kanal hingga menguap.

Metode pembakaran bahan bakar cair pada penelitian ini adalah dinding *combustor* dipanaskan terlebih dahulu (*preheating*) dari luar oleh *burner* hingga cukup panas untuk menguapkan bahan bakar. Uap bahan bakar yang ada di dalam kanal tersebut kemudian memasuki bagian dalam *combustor* dalam fase uap dan bercampur dengan udara yang dihembuskan dari belakang hingga terjadi campuran *premixed*, selanjutnya campuran udara dan bahan bakar tersebut dinyalakan dengan api untuk memulai reaksi pembakaran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Pembakaran bahan bakar cair pada sistem *preheated multiple inlet*

Keterangan:

- → = Arah aliran Heksana
- → = Arah aliran udara
- → = Arah sirkulasi panas

2.5 Heksana (C₆H₁₄)

Heksana adalah sebuah senyawa hidrokarbon alkana dengan rumus kimia C₆H₁₄ apabila bentuk rantainya lurus atau sering disebut juga n-heksana. Isomer utama n-heksana memiliki rumus CH₃(CH₂)₄CH₃. Awalan heks- merujuk pada enam karbon atom yang terdapat pada heksana, sedangkan akhiran -ana berasal dari jenis alkana yang merujuk pada ikatan tunggal yang menghubungkan atom-atom karbon tersebut.

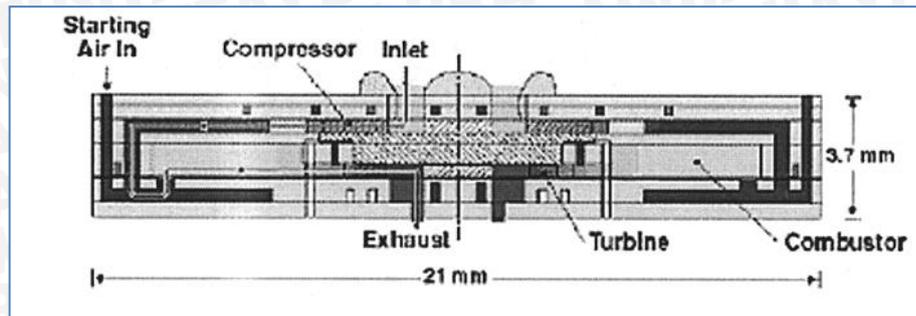
Pada suhu ruangan heksana berbentuk cair, tidak berwarna dan berbau seperti bensin. Heksana bersifat *flammable* atau mudah terbakar sehingga cocok dijadikan bahan bakar pada *meso-scale combustor*. Berikut adalah karakteristik dari n-heksana:

- Fase cair pada suhu 15°C dan tekanan 1 atm
- Temperatur didih 68,7°C pada tekanan 1 atm
- Titik beku - 139,6°C pada tekanan 1 atm
- Titik nyala 225°C pada tekanan 1 atm
- *Specific Gravity* 0,659 pada suhu 20°C
- kalor laten penguapan 3,35 X 10⁵ J/kg

(Anonymous 5)

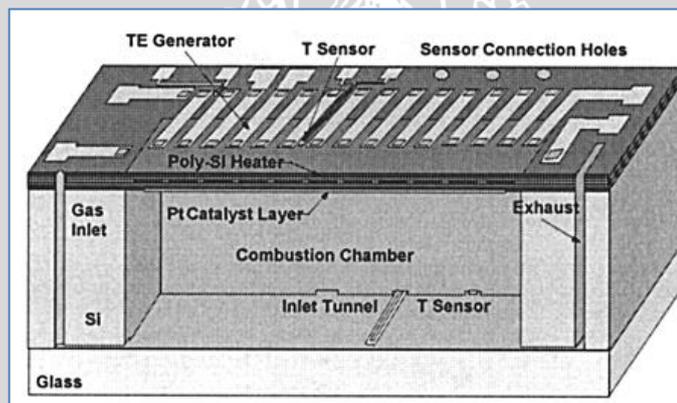
2.6 Micropower Generator dan Micro-/Meso-Scale Combustor

Micropower generator adalah sumber energi berskala mikro yang memanfaatkan prinsip pembakaran dalam pembangkitan energinya. Dengan adanya *micropower generator* diharapkan ketergantungan peralatan mikro pada sumber energi baterai dapat dikurangi. *Micropower generator* sendiri pada dasarnya terbagi menjadi dua jenis. Diantaranya adalah *micropower generator* yang menggunakan siklus daya konvensional dan *micropower generator* dengan menggunakan modul pengkonversi energi termal menjadi energi listrik (*thermophotovoltaic* atau *thermo electric*). Perbedaan kedua *micropower generator* ini terletak dari prinsip kerja pembangkitan energinya. Untuk *micropower generator* yang menggunakan siklus daya konvensional prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip kerja turbin gas yaitu dengan memanfaatkan pembakaran untuk memutar turbin yang berskala mikro.



Gambar 2.11 *Micropower generator* dengan siklus daya konvensional
Sumber : Fernandez-Pello, *et al*, 2002

Sedangkan *micropower generator* dengan menggunakan *thermophotovoltaic* (TPV) prinsip kerjanya hampir sama dengan prinsip kerja *thermo electric* pada umumnya. Bedanya sumber energi termal pada *micropower generator* jenis ini bukan berasal dari sinar matahari melainkan dari proses pembakaran berskala mikro.



Gambar 2.12 *Micropower generator* dengan prinsip *thermoelectric*
Sumber : Fernandez-Pello, *et al*, 2002

Meskipun *micropower generator* terbagi menjadi dua jenis seperti di atas, dapat dilihat bahwa terdapat persamaan dari kedua *micropower generator* tersebut yaitu sumber energi termalnya. Dimana sumber energi termal pada *micropower generator* berasal dari proses pembakaran berskala mikro atau biasa disebut dengan istilah *microcombustion* pada *micro-* atau *meso-scale combustor*. *Microcombustion* merupakan proses pembakaran pada suatu *combustor* (ruang bakar) yang memiliki karakteristik dimensi relatif mendekati *quenching distance* atau lebar minimal suatu ruang bakar agar dapat terjadi pembakaran didalamnya. Suatu *combustor* yang dimensinya mendekati *quenching distance* disebut *microcombustor* (Maruta, 2011).

Microcombustor terbagi menjadi berbagai macam jenis dan ukuran yang ada. Namun secara garis besar *microcombustor* diklasifikasikan secara sederhana menjadi

dua golongan yaitu *micro-scale combustor* dan *meso-scale combustor*. Pengklasifikasian tersebut berdasarkan besarnya celah pada ruang bakar. Untuk *micro-scale combustor* celah ruang bakar memiliki ukuran kurang dari 1 mm. Sedangkan untuk *meso-scale combustor* memiliki ukuran lebih dari 1 mm, namun karakteristik pembakaran masih menyerupai *microcombustion* (Maruta, 2011).

Dalam penelitian ini *combustor* yang digunakan adalah *meso-scale combustor*. Pada *meso-scale combustor* pembakaran yang stabil sangat sulit dicapai karena perbandingan luas permukaan dan volume sangatlah besar (*surface to volume ratio*, S/V), sehingga *heat-loss* yang terjadi juga semakin tinggi. Hal ini dapat menyebabkan api padam karena panas yang terjadi dari pembakaran sebelumnya tidak cukup untuk menjadi energi aktivasi bagi pembakaran selanjutnya.

Sejauh ini bahan bakar yang umum digunakan pada *meso-scale combustor* adalah bahan bakar gas, karena gas mudah diatur debit bahan bakarnya serta mudah tercampur dengan udara. Namun karena sifat tersebut juga yang membuat bahan bakar gas harus disimpan pada tabung bertekanan sehingga mempersulit proses penyimpanan dan pengirimannya. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba diterapkan pembakaran menggunakan bahan bakar cair untuk mengatasi masalah - masalah tersebut.

2.7 Warna Api Hasil Reaksi Pembakaran Hidrokarbon

Warna api hasil pembakaran hidrokarbon pada umumnya berwarna biru akan tetapi ada kalanya api hasil reaksi pembakaran berwarna biru keunguan, biru kehijauan bahkan hingga berwarna kuning-oranye. Perbedaan warna api bisa diakibatkan oleh banyak faktor. Akan tetapi faktor terbesar adalah adanya perbedaan reaksi kimia pembakaran ketika berada pada rasio ekuivalen yang berbeda beda. Perbedaan reaksi kimia tersebut menyebabkan radikal yang tereksitasi dari reaksi juga berbeda - beda. Radikal atau radikal bebas sendiri merupakan molekul atau atom reaktif yang tidak mempunyai pasangan elektron (Turns, 2000 : 113). Radikal yang terkesitasi dari suatu molekul tertentu akan menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang yang bervariasi sehingga warna api yang dihasilkan juga akan berbeda - beda.

Pada kondisi stoikiometri ($\phi = 1$) api hasil pembakaran hidrokarbon berwarna biru hal ini dikarenakan pada kondisi stoikiometri reaksi pembakaran akan menghasilkan emisi CO_2 . Emisi CO_2 disini tereksitasi sebagai radikal yang menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang antara 300 nm sampai 600 nm. Spektrum dengan panjang gelombang pada nilai tersebut kemudian ditangkap oleh mata sebagai warna biru. Oleh

karena itu api hasil pembakaran pada kondisi stoikiometri tampak berwarna biru (Zizak, 2000).

Untuk campuran miskin ($\phi \leq 1$) api hasil pembakaran berwarna biru keunguan hal ini disebabkan reaksi pembakaran pada campuran miskin terjadi dengan kondisi kekurangan bahan bakar. Sehingga atom C (karbon) yang tersedia tidak mampu mengikat seluruh atom oksigen yang ada pada udara. Hal ini mengakibatkan terbentuknya molekul seperti OH maupun NO yang nantinya tereksitasi menjadi radikal dan menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang antara 215 nm sampai 315 nm. Spektrum dengan panjang gelombang pada nilai tersebut memasuki zona ultraviolet. Oleh karena itu api hasil pembakaran pada campuran miskin tampak berwarna biru keunguan (Zizak, 2000).

Sedangkan pada campuran kaya ($\phi \geq 1$) warna api hasil pembakaran adalah biru kehijauan. Hal tersebut diakibatkan oleh terbentuknya molekul CH dan C₂ karena terlalu melimpahnya jumlah atom C dari bahan bakar. Molekul CH dan C₂ ini kemudian tereksitasi menjadi radikal yang menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang antara 436 nm hingga 563 nm. Spektrum dengan panjang gelombang pada nilai tersebut akan ditangkap oleh mata sebagai warna biru kehijauan (Zizak, 2000).

Sedangkan warna oranye atau kuning dari api hasil pembakaran hidrokarbon terjadi karena terbentuknya partikel jelaga. Fenomena ini seringkali terjadi pada api difusi karena pada api difusi campuran oksigen dan bahan bakar terjadi bersamaan dengan proses pembakaran (*ignition*) sehingga bahan bakar banyak yang tidak tercampur secara merata dan kemudian membentuk jelaga. Jelaga tersebut kemudian membuat api menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang tertentu yang akhirnya terlihat sebagai warna oranye maupun kuning (Glassman, 2008 : 315).

2.8 Hipotesa

Pembakaran bahan bakar cair pada *meso-scale combustor* dapat terjadi dengan metode *preheated multiple fuel inlet*, bahan bakar cair (heksana) dapat menguap di dinding *combustor*. Uap bahan bakar yang masuk ke bagian dalam *combustor* diharapkan dapat bereaksi dengan udara dan terjadi proses pembakaran. Dengan diaplikasikannya *mesh* dapat meratakan distribusi uap dan dapat menjadi *flame holder*, sehingga pembakaran dapat terjadi dengan stabil di dalam *combustor*.