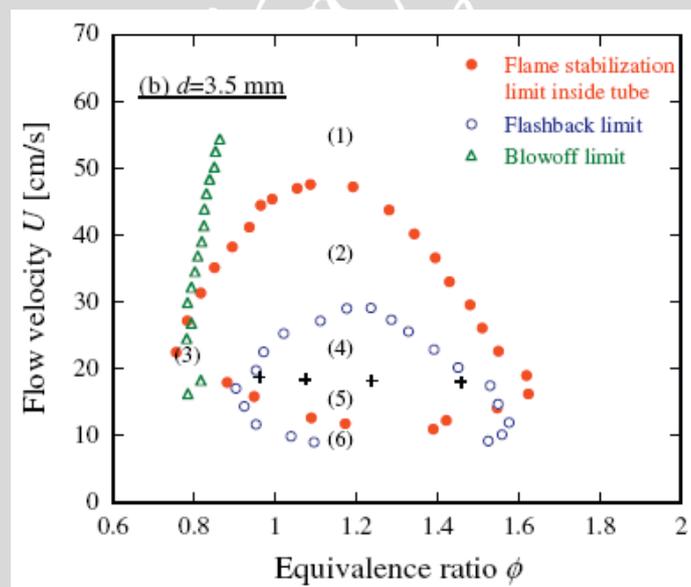


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mikami, et al (2013), meneliti mengenai pengaruh pemakaian bahan bakar gas propana (C_3H_8) dengan udara sebagai oksidator dengan *wire mesh* pada *meso-scale combustor* terhadap kestabilan api dan kecepatan pembakaran (*flame propagation*). Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa dengan menyisipkan sebuah *wire mesh* dapat mestabilkan pembakaran dalam *meso-scale combustor*. Hal itu karena *wire mesh* memiliki peranan sebagai *flame holder* yang mengakibatkan terjadinya perpindahan panas (*heat recirculation*) dari *flame* ke reaktan sehingga terjadi pembakaran yang stabil dalam *meso-scale combustor*. Gambar 2.1 menunjukkan kestabilan api dan *flame stabilization limit* dalam *meso-scale combustor* dengan *wire mesh*.



Gambar 2.1 Diagram kestabilan api & *flame stabilization limit* dengan bahan bakar propana (C_3H_8) dalam *meso-scale combustor*
Sumber : (Mikami, et al, 2013)

Dari penelitian ini juga diketahui bahwa kecepatan pembakaran (*flame propagation*) meningkat di daerah sekitar *wire mesh*. Hal ini terjadi karena *wire mesh* dapat meningkatkan perpindahan panas konduksi dari *flame* melalui dinding *combustor* untuk pemanasan awal reaktan, sehingga temperatur dan kecepatan pembakaran juga meningkat serta proses pembakaran menjadi lebih stabil dalam batas nyala tertentu.

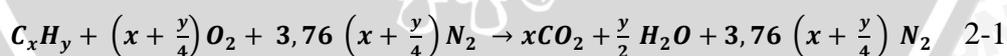
2.2 Pembakaran

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen (proses oksidasi) yang berlangsung sangat cepat dan menghasilkan panas dalam bentuk api dan cahaya (*flame*). Dalam setiap proses pembakaran terdapat beberapa syarat yang harus dimiliki yaitu tersedianya bahan bakar, oksidator (oksigen/udara) dan energi aktivasi dalam jumlah yang cukup. Bahan bakar dan udara harus tersedia dalam jumlah/perbandingan tertentu.

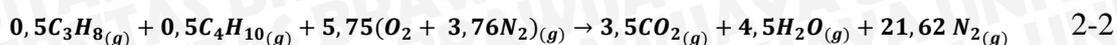
Apabila terlalu sedikit oksidator pada jumlah bahan bakar tertentu dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuk CO. Namun sebaliknya, jika udara yang ditambahkan terlalu banyak maka dapat menyebabkan kehilangan panas. Diperlukan energi dalam jumlah tertentu agar pembakaran dapat berlangsung. Dalam suatu proses pembakaran, energi aktivasi berfungsi untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar agar molekul tersebut menjadi bermuatan dengan cara memutus atau melepaskan ikatan elektron kulit terluarnya.

2.2.1 Reaksi pembakaran

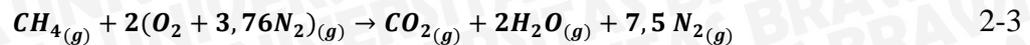
Keadaan dimana terjadi proses pembakaran yang sempurna pada campuran bahan bakar dan udara pada jumlah yang tepat disebut pembakaran stoikiometrik. Pada pembakaran stoikiometrik, semua atom bahan bakar dan pengoksidasi bereaksi dan menghasilkan karbon dioksida dan air. Dalam perhitungan reaksi pembakaran, oksidator yang umum digunakan adalah udara yang merupakan campuran dari 21 % oksigen dan 79 % nitrogen, sehingga pada saat reaksi dengan udara, penggunaan 1 mol O₂ akan mencakup penggunaan (79/21) N₂ = 3,76 mol N₂. Reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_xH_y dapat ditulis dalam persamaan :



Persamaan ini telah disederhanakan karena untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekuivalen yang tepat dari udara sangat sulit. Jika pembakaran tidak sempurna, maka akan membentuk oksidasi parsial berupa CO, CO₂ dan H₂O. Perhitungan stoikiometrik digunakan untuk menentukan berapa banyak udara yang diperlukan dalam oksidasi bahan bakar agar menghasilkan CO₂ dan H₂O. Persamaan reaksi kimia pada pembakaran stoikiometrik dari LPG yang terdiri dari 50% propana (C₃H₈) dan 50% butana (C₄H₁₀) dengan udara adalah :



Persamaan reaksi kimia pada pembakaran stoikometrik dari metana (CH_4) dengan udara adalah :



2.2.2 Air fuel ratio dan rasio ekuivalen

Rasio udara/bahan bakar (*air-fuel ratio*) merupakan perbandingan antara massa udara dengan massa bahan bakar atau mol udara dengan mol bahan bakar. Dalam proses pembakaran perbandingan campuran bahan bakar dengan udara tersebut mempunyai peranan yang sangat penting dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri. Persamaan AFR untuk campuran stoikiometrik dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}} \quad 2-4$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}} \quad 2-5$$

(Wardana, 2008:58-59)

Dimana $(\text{AFR})_{\text{stoic}}$: Rasio udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometrik

N_{udara} : Jumlah mol udara

$N_{\text{bahan bakar}}$: Jumlah mol bahan bakar

M_{udara} : Massa molekul udara

$M_{\text{bahan bakar}}$: Massa molekul bahan bakar

Sehingga perhitungan AFR C_3H_8 berdasarkan mol dari persamaan (2-2) dan (2-4) menjadi :

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{5,75(1+3,76)}{(0,5+0,5)} \right)_{\text{stoic}} = 27,37 \frac{\text{Mol udara}}{\text{Mol bahan bakar}}$$

AFR dapat juga dinyatakan dengan dasar perbandingan massa, dapat dituliskan sebagai berikut :

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

$$\text{AFR} = \frac{5,75 (2 \times 16 + 3,76 \times 14 \times 2)}{[0,5(12 \times 3 + 8)] + [0,5(12 \times 4 + 10)]} = 15,44 \frac{\text{kg udara}}{\text{kg bahan bakar}}$$

Sedangkan perhitungan AFR CH_4 berdasarkan mol dari persamaan (2-3), menjadi :

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{2(1+3,76)}{(1)} \right)_{\text{stoic}} = 9,52 \frac{\text{Mol udara}}{\text{Mol bahan bakar}}$$

AFR udara - CH₄ dinyatakan dalam perbandingan massa adalah sebagai berikut :

$$AFR = \frac{2(2 \times 16 + 3,76 \times 14 \times 2)}{(12 + 4)} = 17,1 \frac{\text{kg}_{\text{udara}}}{\text{kg}_{\text{bahan bakar}}}$$

Rasio ekuivalen (Φ) merupakan perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual. Metode ini merupakan metode yang umum digunakan untuk mendefinisikan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau.

Rasio ekuivalen ini ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\Phi = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{actual}} \quad 2-6$$

Dimana :

- $\Phi > 1$: Terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*rich fuel mixture*)
- $\Phi = 1$: Merupakan campuran stoikiometrik
- $\Phi < 1$: Campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*lean fuel mixture*)

2.3 Klasifikasi Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen/udara), yang menghasilkan panas. Pembakaran itu sendiri dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu: pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi.

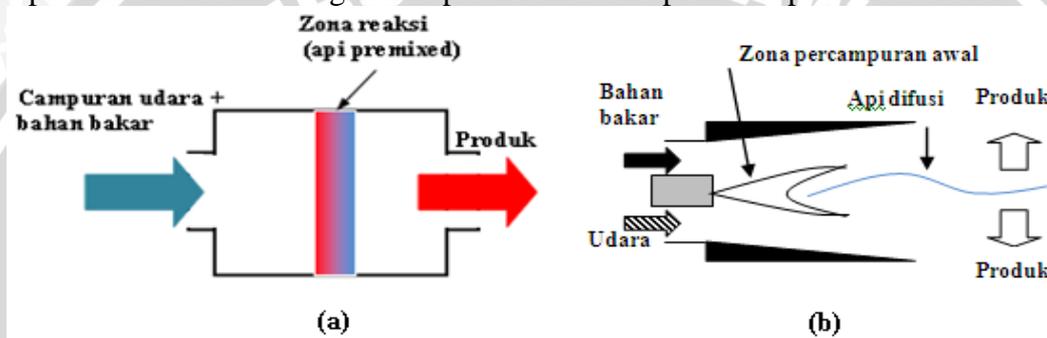
2.3.1 Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah pembakaran dimana terjadi pencampuran bahan bakar dengan udara terlebih dahulu sebelum dibakar. Pembakaran juga ditentukan oleh tiga karakter, karakter yang pertama ditentukan oleh bagaimana reaktan terbakar dalam zona reaksi. Sedangkan apabila reaktan tidak bercampur sebelum terbakar maka pembakaran ini termasuk pembakaran difusi karena pencampuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di zona reaksi diakibatkan oleh difusi molekuler.

Karakter kedua ditentukan oleh perilaku aerodinamika aliran apakah alirannya laminar atau turbulen. Pada pembakaran laminar semua proses perambatan reaktan maupun panas terjadi secara molekuler. Pada pembakaran turbulen semua proses

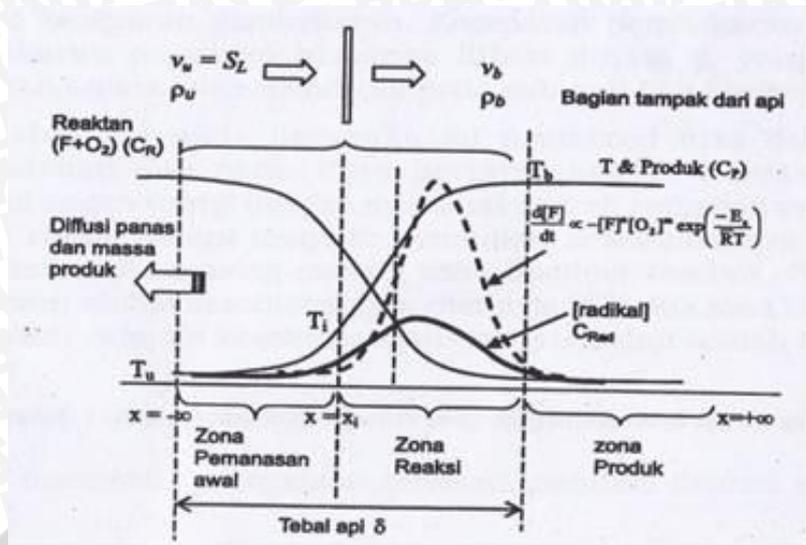
pencampuran maupun proses perambatan dibantu oleh gerakan pusaran aliran makro turbulen (Wardana; 2008:150). Karakter yang ketiga ditentukan oleh keadaan fisik awal dari bahan bakar apakah berbentuk padat, cair atau gas.

Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame front*. Gelombang pembakaran akan merambat ke arah reaktan dan dibelakang gelombang pembakaran terbentuk produk hasil pembakaran. Pada gambar 2.2 (a) reaktan (bahan bakar dan udara) akan bercampur sebelum masuk dalam zona reaksi. Proses pembakaran berlangsung dengan sangat cepat pada tekanan tetap. Setelah melewati zona reaksi reaktan akan menjadi produk. Zona reaksi yang sangat tipis ini disebut api *premixed*. Api *premixed* akan merambat menuju ke arah reaktan. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api akan stasioner.



Gambar 2.2 Cara reaktan terbakar (a) pembakaran *premixed*; (b) Pembakaran difusi
Sumber: Wardana (2008: 149)

Sedangkan gambar 2.2 (b) menunjukkan pembakaran difusi, bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang bakar melalui saluran yang berbeda dan keluar dalam bentuk produk setelah terbakar di zona reaksi. Bahan bakar dan udara bercampur di zona reaksi diakibatkan oleh difusi molekul. Api difusi tidak bisa merambat menuju ke bahan bakar karena kekurangan oksigen demikian juga sebaliknya tidak bisa merambat ke udara karena kekurangan bahan bakar.



Gambar 2.3 Detail struktur di dalam api *premixed*.
Sumber: Wardana (2008:155)

Keterangan gambar:

C_R	=	konsentrasi reaktan
T_i	=	temperatur intermediate
C_P	=	konsentrasi produk
T_b	=	temperatur produk
T_u	=	temperatur reaktan

Dalam gelombang pembakaran terdapat dua zona yaitu:

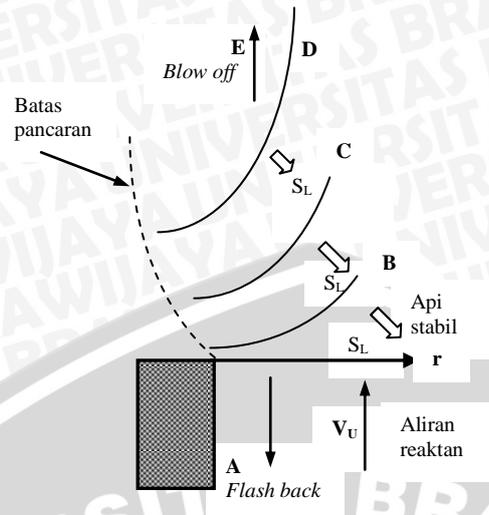
1. Zona pemanasan awal (*preheat zone*)

Daerah dimana sedikit panas ditransfer dan masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (*unburn fuel*)

2. Zona reaksi (*reaction zone*) daerah dimana sebagian besar energi kimia dilepaskan.

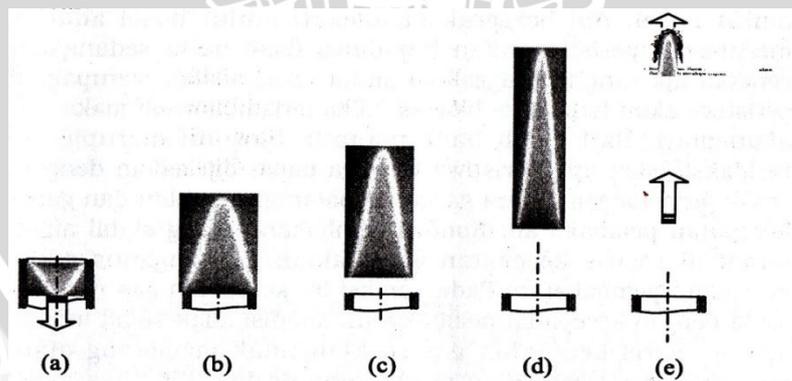
2.3.2 Kestabilan api pada pembakaran *premixed*

Nyala api (*flame*) adalah daerah tempat terjadinya reaksi pada suatu proses pembakaran. Nyala api dibatasi oleh permukaan nyala (*flame front*) yaitu permukaan yang membatasi gas yang terbakar dan tidak terbakar. Api dikatakan stabil apabila terjadi api stasioner pada kedudukan tertentu, dimana kecepatan reaktan sama dengan kecepatan pembakaran, dalam hal ini rambatan api. Gambar 2.4 menunjukkan mekanisme kestabilan api pada pembakaran *premixed*.



Gambar 2.4 Mekanisme kestabilan api *premixed*
 Sumber : Wardana (2008:171)

Jika kecepatan reaktan lebih kecil daripada kecepatan produk maka api akan bergerak ke mulut *combustor* dan kejadian ini disebut *flash back*. Jika kecepatan reaktan lebih besar daripada kecepatan produk maka api akan bergerak menjauh dari mulut *combustor* dan kejadian ini disebut *blow off*. Batas kestabilan api pada umumnya menjelaskan batas operasional dari sistem pembakaran. Sedangkan kondisi *lift off* didefinisikan sebagai suatu kondisi dimana saat api mulai tidak menempel pada mulut *combustor*. Hal ini terjadi karena kecepatan api lebih kecil daripada kecepatan gas reaktan, sehingga api akan bergerak menjauhi mulut *combustor*. Untuk lebih jelasnya dapat disimak Gambar 2.5.



Gambar 2.5 : (a) *flashback*, (b) *stabil*, (c) *lift off*, (d) *lifted*, (e) *blowoff*
 Sumber: Wardana (2008:169)

Nyala api dapat terjadi jika terdapat campuran bahan bakar dengan oksidator udara. Dalam pembakaran, terdapat kisaran (*flammability range*) campuran bahan bakar dan oksidator yang menyebabkan terjadinya nyala api. Kisaran (*flammability range*)

didefinisikan sebagai kisaran batas bawah mampu nyala dan kisaran batas atas mampu nyala atau yang lebih dikenal sebagai *lower flame stabilization limit* (LFL) dan *upper flame stabilization limit* (UFL).

Lower flame stabilization limit (LFL) merupakan konsentrasi bahan bakar terendah yang akan mendukung api menyebarkan diri bila dicampur dengan udara. Ketika konsentrasi suatu bahan bakar berada di bawah *lower flame stabilization limit* (LFL), kandungan bahan bakar tidak akan cukup untuk mendukung proses pembakaran. *Upper flame stabilization limit* (UFL) merupakan konsentrasi bahan bakar tertinggi yang akan mendukung api untuk menyebarkan diri bila dicampur dengan udara. ketika konsentrasi suatu bahan bakar berada di atas *upper flame stabilization limit* (UFL), kandungan oksigen tidak akan cukup untuk mendukung proses pembakaran. Kondisi rentang mudah terbakar pada suatu campuran, dimana bahan bakar dan udara dalam komposisi yang tepat untuk dibakar saat dinyalakan merupakan dua batas antara LFL dan UFL.

Campuran stoikiometrik terjadi saat oksigen dan molekul bahan bakar berada dalam rasio yang tepat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan reaksi pembakaran. Besaran LFL dan UFL biasanya digunakan prosentase % terhadap volume campuran udara-bahan bakar. Sebagai contoh gas propana, nyala api hanya akan terbentuk pada kisaran campuran gas propana terhadap volume campuran sebesar LFL 2.04 % dan UFL 9.79 % . Nilai ini berbeda dengan nilai LFL dan UFL untuk bahan bakar yang lainnya. Nilai LFL dan UFL setiap bahan bakar dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik nyala api, diantaranya adalah variabel-variabel fisik yang meliputi temperatur dan tekanan, sedangkan variabel kimia meliputi rasio campuran, penambahan *innert* dan struktur hidrokarbon.

Akibat adanya faktor yang mempengaruhi pada setiap campuran bahan bakar juga akan mempengaruhi nilai LFL dan UFL. Berikut tabel perbandingan nilai LFL dan UFL tiap bahan bakar pada tekanan dan temperatur atmosfer.

Tabel 2.1 *Lower dan Upper Flammibility Limit* dari berbagai jenis bahan bakar

Compound	Regression analysis of observed values			
	at 25 °C	s.d.	Coeff.	s.d.
Methane	4.95	0.02	-0.0034	0.0003
Propane	2.04	0.00	-0.0016	0.0001
Isobutane	1.67	0.00	-0.0012	0.0001
Ethylene	2.73	0.00	-0.0022	0.0001
Propylene	2.18	0.01	-0.0017	0.0001
Dimethyl ether	3.32	0.01	-0.0030	0.0002
Methyl formate	5.27	0.01	-0.0043	0.0001
1,1-Difluoroetha	4.35	0.01	-0.0038	0.0002
Ammonia	15.45	0.02	-0.0087	0.0004
Carbon monoxide	12.33	0.06	-0.0113	0.0010

Compound	Regression analysis of observed values			
	at 25 °C	s.d.	Coeff.	s.d.
Methane	15.72	0.02	0.0102	0.0003
Propane	9.79	0.02	0.0035	0.0003
Isobutane	7.80	0.09	0.0019	0.0016
Ethylene	30.63	0.22	0.0403	0.0039
Propylene	10.30	0.07	0.0053	0.0012
Dimethyl ether	25.23	0.21	0.0794	0.0037
Methyl formate	22.81	0.12	0.0156	0.0021
1,1-Difluoroetha	17.28	0.05	0.0089	0.0009
Ammonia	29.71	0.04	0.0196	0.0007
Carbon monoxide	72.74	0.06	0.0300	0.0011

Sumber : Kondo, 2011

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro (*Micro Power Generator*)

Pembangkit listrik tenaga mikro atau *micro-power generator* saat ini merupakan suatu perangkat pembangkit listrik skala kecil yang sangat gencar dikembangkan. Hal ini seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan perangkat elektronik yang membutuhkan sumber energi yang dapat dipakai dalam jangka pemakaian yang lebih lama namun dengan densitas energi yang tinggi serta waktu isi ulang yang relatif cepat.

Micro-power generator dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori. Pertama adalah *micro-power generator* yang beroperasi berdasarkan siklus daya konvensional, contohnya *micro gas turbine* dan mesin rotari mikro. *Micro-gas turbine* dengan cara mengkonversi energi termal menjadi energi mekanik, dan dilanjutkan menjadi energi listrik menggunakan generator listrik. Sistem ini bekerja dengan kecepatan 9000 rpm

dengan daya keluaran sekitar 3,7 W. Akan tetapi efisiensi dari *micro-gas turbine* sangat kecil, yaitu sekitar 0,2 %. Hal ini akibat rasio kompresi yang rendah disebabkan masalah pada *balancing* dan *sealing*.

Kategori yang kedua yaitu sistem dengan pembakaran yang berfungsi sebagai pembangkit/sumber panas yang dihubungkan dengan modul pengkonversi energi untuk merubah energi panas menjadi energi listrik. Contohnya adalah *thermo electric* dan *thermo photo voltaic*.

2.5 Micro dan Meso-scale Combustor

Semakin meningkatnya kebutuhan akan sumber energi dalam skala kecil pada perangkat elektronik portabel kian membuat potensi pengembangan *meso-scale combustor* sebagai salah satu solusi yang tepat untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut. *Micro atau meso-scale combustor* merupakan ruang bakar yang mempunyai ukuran yang sangat kecil bila dibandingkan dengan ruang bakar pada umumnya seperti yang kita ketahui selama ini seperti ruang bakar motor bensin maupun motor diesel.

Pembakaran yang stabil dari *micro atau meso-scale combustor* merupakan hal yang paling penting dalam *micro-power generator*, karena berfungsi untuk merubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas, yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik. Namun untuk dapat mencapai kestabilan api pada saat pembakaran terjadi sangat sulit diwujudkan dikarenakan waktu reaksi (pembakaran) bahan bakar dalam ruang bakar terbatas dan tingginya laju kehilangan panas (*heat loss*) yang mengakibatkan pemadaman api.

Energi termal dari *micro- dan meso-scale combustor* merupakan sumber energi dari *micro-power generator* yang nantinya dikonversi menjadi energi listrik. Sudah banyak dilakukan penelitian menggunakan *micro- atau meso-scale combustor* dengan harapan dapat memperbaiki stabilitas api dan *flame stabilization limit* dalam *micro- atau meso-scale combustor* dengan bahan bakar gas.

Radical quenching merupakan faktor yang menyebabkan pemadaman api yang terjadi pada dinding ruang bakar. *Radical quenching* adalah bereaksinya radikal bebas yang menghasilkan kestabilan unsur ketika berada pada dinding ruang bakar. Bertambahnya jumlah radikal bebas akan menurunkan kecepatan pembakaran, hal ini yang pada akhirnya juga akan mengakibatkan pemadaman api. Faktor lain yang dapat mempengaruhi karakteristik nyala api, diantaranya adalah variabel-variabel fisik yang

meliputi temperatur dan tekanan, sedangkan variabel kimia meliputi rasio campuran, penambahan *innert* dan struktur hidrokarbon.

2.6 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

Liquified petroleum gas (LPG) merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan dan merupakan salah satu produk minyak bumi yang diperoleh dari proses destilasi bertekanan tinggi. Komposisi utama LPG terdiri dari hidrokarbon ringan berupa propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), serta sejumlah kecil etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}), dengan perbandingan propana (C_3H_8) : butana (C_4H_{10}) = 50 : 50 serta nilai kalor $\pm 11.254.61$ Kkal/kg.

Dalam kondisi atmosfer, elpiji akan berbentuk gas. Volume elpiji dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu elpiji dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung elpiji tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya.

Kebutuhan akan bahan bakar gas atau LPG sebagai bahan bakar untuk rumah tangga dan industri dari tahun ke tahun semakin meningkat karena harga yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak serta praktis dalam penggunaannya. Dalam penggunaannya, LPG harus memenuhi beberapa persyaratan khusus dengan tujuan agar aman dipakai atau tidak membahayakan bagi si pemakai dan tidak merusak peralatan yang digunakan serta efisien dalam pemakaiannya.

Untuk mendeteksi adanya kebocoran pada tabung gas LPG, maka ditambahkan zat pembau (*odor*) yang berupa etil merkaptan (C_2H_5SH) atau butil merkaptan (C_4H_9SH).

LPG yang digunakan dalam penelitian ini adalah MIX LPG produk lokal PT. Pertamina Indonesia dengan komposisi 50% propana dan 50% butana berdasarkan fraksi massa yang memiliki nilai kalori sebesar 11.254,61 Kcal/Kg atau 47.118247 MJ/kg.

2.6.1 Propana (C_3H_8)

Propana terjadi secara alami sebagai gas. Pada tekanan yang lebih tinggi atau suhu lebih rendah, propana berubah menjadi cair. Ketika kembali ke tekanan normal, propana menjadi gas. Sifat-sifat propana adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Properties Bahan Bakar Propana

Rumus molekul	: C ₃ H ₈
Massa molekul	: 44,1 g/mol
<i>Autoignition temperature</i>	: 500°C
Fase	: Gas
Warna	: tidak berwarna
Densitas	: 1,967 kg/m ³ , gas (0 °C, 1013 mbar)
Lower Limit of Flammability	: 2.04
Upper Limit of Flammability	: 9.79
Flash Point	: -104 °C
Bilangan oktan	: 100
<i>Higher Heating value</i>	: 50.35 MJ/kg
<i>Lower Heating value</i>	: 46.35 MJ/kg

Sumber : Anonymous 1

2.6.2 Butana (C₄H₁₀)

Butana merupakan alkana rantai lurus dengan empat atom karbon. Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna, dan merupakan gas yang mudah dicairkan. Harga jual butana umumnya lebih murah dibandingkan dengan propana, namun memiliki efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dibandingkan propana. Disisi lain dengan titik didih di kisaran titik beku air (0 °C), butane tidak efektif digunakan pada suhu yang sangat rendah. Di bawah titik didihnya, butana tetap cair sehingga tidak terdapat perubahan tekanan untuk memaksa gas keluar dari wadahnya.

Tabel 2.3 Properties Bahan Bakar Butana

Rumus molekul	: C ₄ H ₁₀
Massa molekul	: 58,12 g/mol
<i>Autoignition temperature</i>	: 540°C (813 K)
Fase	: Gas
Warna	: tidak berwarna
Densitas	: 2,593 kg/m ³ , gas (0 °C, 1013 mbar)
Lower Limit of Flammability	: 1.7
Upper Limit of Flammability	: 7.8
Flash Point	: -60°F
<i>Higher Heating value</i>	: 49.50 MJ/kg
<i>Lower Heating value</i>	: 45.75 MJ/kg

Sumber : Anonymous 2

2.7 Gas Metana (CH₄)

Metana merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Metana merupakan gas yang terbentuk oleh adanya kovalen antara empat atom hidrogen dengan satu atom karbon. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO₂ (karbon dioksida) dan dua molekul H₂O (air).

Metana adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dengan distribusi yang luas di alam. Metana dapat ditemukan di rawa-rawa, lahan gambut, ladang minyak, ladang gas bumi dan juga ladang batu bara, sehingga gas metana disebut sebagai gas yang diperoleh dari proses alam.

Pada suhu ruangan dan tekanan standar, metana adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Bau dari metana (yang sengaja dibuat demi alasan keamanan) dihasilkan dari penambahan odoran seperti metanathiol atau etanathiol. Metana mempunyai titik didih -161 °C (-257.8 °F) pada tekanan 1 atmosfer. Sebagai gas, metana hanya mudah terbakar bila konsentrasinya mencapai 5-15% di udara. Metana yang berbentuk cair tidak akan terbakar kecuali diberi tekanan tinggi (4-5 atmosfer).

Tabel 2.4 Properties Bahan Bakar Metana

Rumus molekul	: CH ₄
Massa molekul	: 16.04 g/mol
<i>Autoignition temperature</i>	: 580 °C
Fase	: Gas
Warna	: tidak berwarna
Densitas	: 0.716 kg/m ³ , gas (0 °C, 1013 mbar)
Lower Limit of Flammability	: 4.95
Upper Limit of Flammability	: 15.72
Flash Point	: -188 °C
<i>Higher Heating value</i>	: 55.50 MJ/kg
<i>Lower Heating value</i>	: 50 MJ/kg

Sumber : Anonymous 3

2.8 Hipotesis

Jenis bahan bakar yang digunakan pada saat proses pembakaran sangat berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran dalam *meso-scale combustor*, khususnya *flame stabilization limit*, visualisasi nyala api, temperatur api, temperatur gas buang maupun temperatur dinding *combustor*. Nilai rasio ekuivalen, kecepatan reaktan dan *heating release* yang semakin tinggi pada bahan bakar yang digunakan dalam *meso-scale combustor* menghasilkan pembangkitan energi yang semakin besar sehingga *flame stabilization limit* semakin luas, semakin lebar nyala api, warna api yang dihasilkan juga semakin terang, nilai temperatur api, temperatur gas buang dan temperatur dinding yang semakin tinggi.