

## PENGARUH VARIASI DIAMETER TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *MESO COMBUSTOR* DENGAN *SUDDEN EXPANSION*

Eranio Restu Prabowo<sup>1</sup>, Ahmad Adib Rosyadi<sup>2</sup>, Ahmad Syuhri<sup>2</sup>, Intan Hardiatama<sup>2</sup>,  
Andi Sanata<sup>2</sup>, Skriptyan Noor HS<sup>2</sup>, M Edward Ramadhan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Email: \*eranioprabowo@gmail.com

### ABSTRACT

*Improving the temperature distribution in the meso combustor is an effective way to increase the efficiency of micro TPV (thermophotovoltaic) power generation systems. The diameter of the combustor greatly affects the temperature distribution in the combustor. The purpose of the research in this scientific paper is to observe the effect of combustor diameter variation on temperature by measuring the wall temperature ( $T_w$ ) and combustion chamber ( $T_i$ ) at three variations of outlet diameter ( $D_o$ ) combustor measuring 5 mm, 5.5 mm and 6 mm with a constant inlet diameter ( $D_i$ ) of 4.5 mm. The results show that the diameter of the meso combustor greatly affects the temperature on the walls and combustion chamber. The temperature on the combustor wall ( $T_w$ ) is influenced by the amount of surface to volume ratio due to diameter variations in the combustor, where the greater the ratio value ( $D_o$  combustor small) will produce higher wall temperatures, but with large heat losses. While the temperature in the combustor combustion chamber ( $T_i$ ) is influenced by the magnitude of the vortex formed in the sudden expansion area. A large sudden expansion (large  $D_o$  combustor) will form a large vortex that increases the combustion chamber temperature, but makes the flame more unstable due to the excess mass carried by the vortex into the reaction zone.*

*Keywords: meso combustor, sudden expansion, inlet diameter, outlet diameter, surface to volume ratio, vortex.*

### PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan berbagai alat elektronik dengan ukuran yang *portable* semakin pesat. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan sumber energi dengan ukuran yang ringkas dengan kepadatan yang tinggi semakin dibutuhkan. Sebagai contoh sumber energi dengan ukuran yang *portable* adalah baterai. Tetapi baterai memiliki kepadatan energi yang

relatif rendah (Ju, Y., dkk 2011). Faktor tersebut yang mendorong dilakukan berbagai penelitian untuk menemukan

sumber energi baru yang lebih padat dan efisien. Salah satu pembangkit energi yang sedang dikembangkan saat ini adalah *Micro Power Generator* (MPG).

Salah satu bagian dari sistem *Micro Power Generator* (MPG) adalah *Meso Combustion*. *Meso combustion* adalah pembakaran pada ruang bakar (*combustor*) dengan diameter sebesar 1 – 10 mm (Ju, Y., dkk 2011). Komponen utama dari sistem *Meso Combustion* adalah *combustor* dengan dinding yang berfungsi sebagai *emittor* panas (Pan, J.F., dkk 2007). Pembakaran tingkat *meso* terjadi didalam *combustor* sehingga menghasilkan panas pada dinding *combustor*.

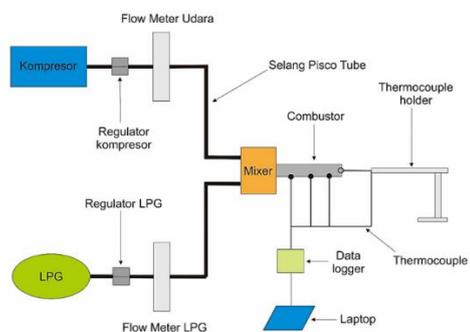
Energi panas yang dihasilkan sangat potensial untuk dijadikan sumber energi dengan cara merubahnya menjadi energi listrik secara langsung menggunakan sel *thermo photovoltaic* (TPV) yang diinstalasi di sekitar dinding *combustor*. Kesulitan paling tinggi pada *meso combustion* adalah bagaimana mengatur kesetimbangan yang optimal antara mempertahankan kestabilan nyala api dan memaksimalkan *output* panas (Yang, W.M., dkk 2002). Menurut Yang *et al.* (2002), kestabilan nyala api dan pencampuran bahan bakar dapat ditingkatkan dengan menambahkan *backward facing step* (BFS) atau *sudden expansion* (SE) yaitu pembesaran diameter pada *combustor* (Yang, W.M., dkk 2002).

Li *et al.* (2008) meneliti beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi temperatur pada *combustor*. Hasil dari penelitian tersebut adalah bahwa diameter *combustor* sangat mempengaruhi distribusi temperatur pada dinding *combustor* (J. Li, dkk 2009). Sedangkan Pan *et al.* (2006) melakukan penelitian terhadap tiga parameter utama pada *micro combustion* yaitu rasio bahan bakar-oksidador, rasio diameter *nozzle-combustor* dan ketebalan dinding *combustor* dan menghasilkan kesimpulan bahwa rasio diameter *nozzle-combustor* mempengaruhi besar dan keseragaman distribusi temperatur pada dinding *combustor* (Pan, J.F., dkk 2007).

Pengembangan selanjutnya berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2002), Pan *et al.* (2006) dan Li *et al.* (2008) dalam karya tulis ilmiah ini akan dilakukan pengamatan terhadap karakteristik distribusi temperatur pada *meso scale combustor*. Penelitian pada karya tulis ilmiah ini dilakukan dengan cara memberikan variasi diameter *outlet* pada *meso combustor*. Dengan variasi tersebut diharapkan dapat diketahui karakteristik distribusi temperatur yang berbeda pada tiap *combustor*.

## METODE PENELITIAN

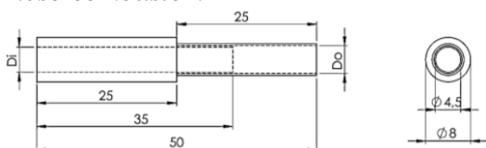
Dalam penelitian ini digunakan bahan bakar berupa gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang merupakan produk dari PERTAMINA dengan komposisi terdiri dari 50% gas propana ( $C_3H_8$ ) dan 50% gas butana ( $C_4H_{10}$ ). Sedangkan oksidator yang digunakan berupa udara bebas. LPG disuplai dari tabung bertekanan dengan laju aliran diukur menggunakan *flow meter* gas (Kofloc RK 150, laju aliran maksimum 20 mL/min), sedangkan udara bebas disuplai menggunakan kompresor udara (merk) dengan laju aliran diukur menggunakan *flow meter* udara (Kofloc RK 150, laju aliran maksimum 500 mL/min). Aliran udara dan LPG dicampur di dalam *mixer* setelah melewati *flow meter* untuk memastikan pencampuran reaktan yang homogen lalu campuran ini dialirkan menuju *cylindrical meso combustor*. Adapun skema instalasi alat penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi alat penelitian

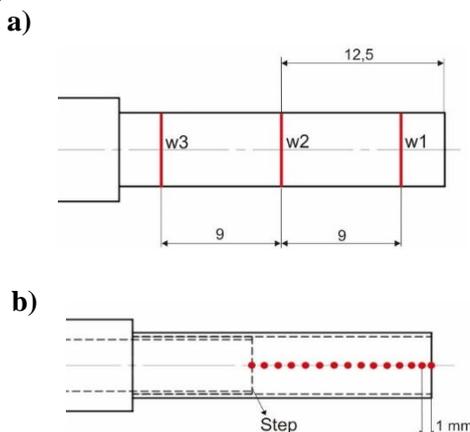
Skema geometri dari *cylindrical meso combustor* dengan *sudden expansion* dapat dilihat pada gambar 2. *Combustor* terbuat dari material tembaga pada keseluruhan bagiannya. *Combustor* memiliki diameter *inlet* ( $D_i$ ) yang konstan sebesar 4,5 mm dengan diameter *outlet* ( $D_o$ ) memiliki tiga jenis variasi ukuran yaitu sebesar 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm agar diketahui pengaruh perbedaan

diameter outlet ( $D_o$ ) pada temperatur *meso combustor*.



Gambar 2. Geometri *cylindrical meso combustor* dengan *sudden expansion*

Untuk mengukur temperatur pada dinding *combustor* digunakan *thermocouple* yang di instalasi di sekitar dinding *combustor*, sedangkan untuk pengukuran pada ruang bakar *combustor* digunakan *thermocouple holder* agar dapat diketahui jarak antara titik pengukuran di dalam ruang bakar. Penelitian ini menggunakan *thermocouple* tipe-K dengan rentang pengukuran suhu 0-1250°C. Agar sinyal dari *thermocouple* dapat dirubah menjadi data dan terbaca oleh laptop maka digunakan *data logger* merk ADAM 4018+ dan *converter* merk ADAM 4561 yang disambungkan dengan *laptop* menggunakan kabel USB port. Adapun skema titik pengukuran suhu pada *combustor* dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Titik pengukuran suhu pada dinding (a) dan ruang bakar (b) *combustor*

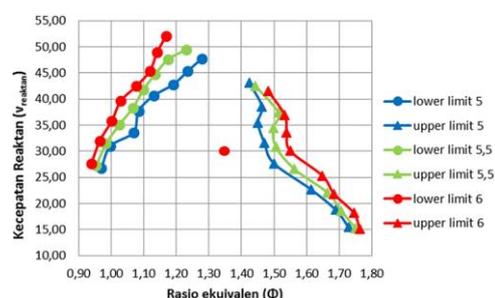
Sebelum dilakukan pengukuran temperatur pada *combustor*, terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk

menentukan nilai rasio ekuivalen ( $\Phi$ ) dan kecepatan reaktan ( $v_{reaktan}$ ) dengan cara melakukan pengaturan pada debit udara dan bahan bakar hingga titik maksimum atau minimum kestabilan nyala api tercapai. Selanjutnya data tersebut diterjemahkan kedalam grafik *flammability limit* untuk dicari titik tengah dari grafik tersebut sehingga dapat diketahui nilai debit udara ( $Q_a$ ) maupun bahan bakar ( $Q_f$ ) yang akan digunakan dalam penelitian agar didapatkan kondisi pembakaran yang sama pada ketiga *combustor*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Grafik *Flammability Limit*

Setelah dilakukan pengujian untuk mencari rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan maka didapatkan grafik *flammability limit* seperti pada gambar 3 berikut.



Gambar 4. Grafik *flammability limit*

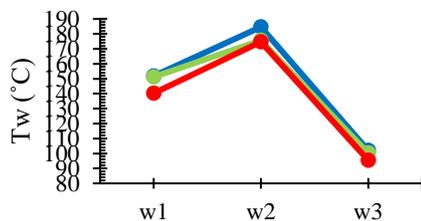
Dari grafik tersebut dapat ditentukan titik tengah dari keempat garis grafik yang ditandai dengan titik berwarna merah. Dari titik tersebut didapatkan rasio ekuivalen ( $\Phi$ ) sebesar 1,35 dan kecepatan reaktan ( $v_{reaktan}$ ) sebesar 30 cm/s untuk selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan persamaan dan didapatkan debit bahan bakar ( $Q_f$ ) sebesar 12 ml/min dan debit udara ( $Q_a$ ) sebesar 142 ml/min yang akan digunakan selanjutnya dalam penelitian temperatur pada *meso combustor*.

### Distribusi Temperatur Pada Dinding ( $T_w$ )

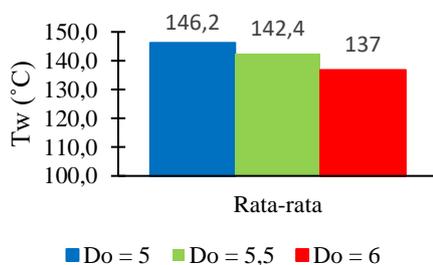
Setelah dilakukan pengujian temperatur pada *meso combustor*, diketahui bahwa variasi ukuran diameter outlet ( $D_o$ ) pada *combustor* sangat mempengaruhi distribusi temperatur yang terjadi pada *combustor*. Grafik distribusi temperatur pada dinding *combustor* dapat dilihat pada gambar 5.

Dapat dilihat bahwa temperatur dinding pada *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *combustor*  $D_o = 5,5$  dan 6 mm. Pada *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm suhu dinding tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $184,7^\circ\text{C}$  pada titik  $w_2$  sedangkan suhu terendah berada pada titik  $w_3$  sebesar  $102^\circ\text{C}$ . Pada *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm suhu tertinggi berada pada titik  $w_2$  sebesar  $175,7^\circ\text{C}$  untuk  $T_w$  terendah berada pada titik  $w_3$  dengan suhu sebesar  $100,2^\circ\text{C}$ . Sedangkan pada *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm suhu tertinggi berada pada titik  $w_2$  sebesar  $75^\circ\text{C}$  dan  $T_w$  terendah pada titik  $w_3$  sebesar  $95,5^\circ\text{C}$ .

a)



b)



Gambar 5. Grafik distribusi  $T_w$  (a) dan grafik rata-rata  $T_w$  (b)

Temperatur rata-rata dinding berbeda pada ketiga *combustor* meskipun tidak signifikan. Suhu rata-rata dinding tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm sebesar  $146,2^\circ\text{C}$  sedangkan suhu terendah dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm sebesar  $137^\circ\text{C}$ . Adapun suhu rata-rata yang dihasilkan *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm sebesar  $142,4^\circ\text{C}$ .

Bila diperhatikan dari ketiga *combustor* memiliki kesamaan pada titik suhu maksimum dan minimum pada dinding. Adapun persamaan itu adalah untuk  $T_w$  tertinggi berada pada titik  $w_2$  dan terendah berada pada titik  $w_3$ . Hal ini disebabkan karena posisi  $w_2$  yang dekat dengan bagian *sudden expansion* dari *combustor*. Sedangkan titik  $w_3$  berada paling jauh dari *step* sehingga suhu yang dihasilkan lebih rendah. Seperti kita ketahui bahwa *sudden expansion* adalah lokasi dimana api bertahan sehingga menyebabkan suhu dinding di sekelilingnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di titik lainnya.

Dari grafik hasil penelitian yang telah disajikan sebelumnya dapat diketahui bahwa *combustor* dengan  $D_o$  yang kecil cenderung menghasilkan suhu rata-rata dinding yang lebih tinggi dibandingkan *combustor* berdiameter lebih besar, hal ini diperkuat oleh J. Li *et al.* (2009). Tingginya suhu pada dinding *combustor* sangat dipengaruhi oleh besaran *surface to volume ratio*. Adapun *surface to volume ratio* adalah rasio perbandingan antara luas permukaan dengan volume dari *combustor*. Dengan volume *combustor* yang semakin kecil akan membuat nilai *surface to volume ratio* semakin besar sehingga meningkatkan *heat loss* yang terjadi dan membuat suhu permukaan *combustor* semakin tinggi (Walther D.C., dkk 2010). Adapun *surface to volume ratio* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Ratio} = \frac{l \times k}{v}$$

Keterangan :

$l$  : panjang *combustor*

$K$  : keliling *combustor*

$V$  : Volume *combustor*

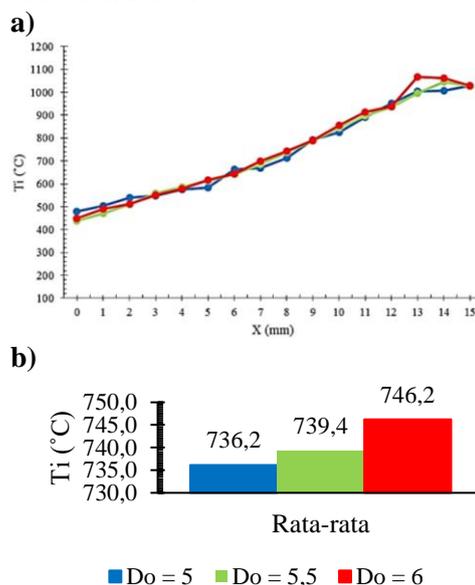
Berdasarkan perhitungan yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa *combustor* dengan  $D_o$  yang kecil memiliki *surface to volume ratio* yang besar bila dibandingkan dengan *combustor* dengan  $D_o$  yang lebih besar sehingga menghasilkan suhu dinding ( $T_w$ ) yang lebih tinggi.

### Distribusi Temperatur Pada Ruang Bakar ( $T_i$ )

Pada gambar 6 merupakan grafik distribusi temperatur pada ruang bakar *combustor* ( $T_i$ ). Dapat dilihat bahwa untuk  $T_i$  pada *combustor* nilainya akan semakin besar ketika  $D_o$  dari *combustor* semakin besar, walaupun perbedaan diantara ketiganya tidak signifikan. Posisi titik puncak dari suhu ruang bakar pada tiap *combustor* berbeda. Sebagai contoh pada gambar 4.1 *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $1029,2^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) sebesar 13 mm, pada gambar 4.2 untuk *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat adalah sebesar  $1045,3^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) 14 mm atau berada tepat di depan *step* sedangkan pada *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm seperti pada gambar 4.3 suhu  $T_i$  tertinggi yang tercatat sebesar  $1068,8^\circ\text{C}$  dengan jarak dari  $D_o$  ( $x$ ) sebesar 15 mm atau tepat berada pada *step*.

Selain itu pada grafik ketiga *combustor* dapat dilihat bahwa semakin besar  $D_o$  dari *combustor* maka distribusi temperatur yang terjadi juga semakin stabil. Pada *combustor* dengan  $D_o = 5$  mm kenaikan temperatur dari ujung  $D_o$  menuju *step* terlihat tidak teratur dan grafik cenderung naik turun. Berbeda dengan grafik *combustor* dengan  $D_o = 5,5$  mm dan 6 mm, kenaikan suhu dari ujung  $D_o$  hingga mencapai *step* cenderung

stabil dan naik secara bertahap (*gradual*) hingga mencapai titik suhu maksimum. Hal ini disebabkan oleh perilaku api yang menyala dalam ruang pembakaran *meso scale combustor*.



Gambar 6. distribusi  $T_i$  (a) dan grafik rata-rata  $T_i$  (b)

Sedangkan berdasarkan data pengukuran suhu pada ruang bakar *combustor* ( $T_i$ ) dapat diketahui bahwa suhu  $T_i$  semakin tinggi seiring dengan bertambahnya diameter *outlet* ( $D_o$ ) pada *meso combustor*. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *vortex* pada saluran *sudden expansion* dari *meso combustor*. Semakin besar *sudden expansion* ( $D_o$  lebih besar) semakin besar pula *vortex* yang dihasilkan. *Vortex* yang terbentuk dapat meningkatkan stabilitas nyala api dan berfungsi sebagai penahan api (*flame holder*) di dalam ruang pembakaran *meso combustor*. Hal ini disebabkan karena *vortex* membawa suhu dan massa kedalam zona reaksi (*reaction zone*) atau ruang pembakaran. Tetapi semakin besar *vortex* yang terbentuk membuat kestabilan nyala api semakin berkurang (Altay, H. M., dkk 2009). Ini disebabkan karena *vortex* yang besar cenderung membawa massa lebih banyak dibandingkan dengan suhu kedalam

ruang pembakaran sehingga membuat ketidakseimbangan antara panas dan massa pada pembakaran yang menyebabkan ketidakstabilan nyala api. *Vortex* yang besar juga menyebabkan terjadinya pemuluran api (*stretching*) sehingga nyala api akan semakin menjauhi *sudden expansion* akibat banyaknya massa yang memasuki ruang pembakaran.

Pada grafik distribusi temperatur dapat dilihat *combustor* dengan  $D_o = 6$  mm memiliki suhu ruang pembakaran ( $T_i$ ) yang paling tinggi dibanding *combustor* lainnya, namun dengan titik tertinggi terletak menjauhi *sudden expansion*. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *vortex* yang lebih besar pada *combustor* ini seperti pada penjelasan sebelumnya.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian karakteristik distribusi temperatur pada *meso combustor* dengan *sudden expansion* ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi diameter *outlet* ( $D_o$ ) menghasilkan distribusi temperatur yang berbeda pada dinding maupun ruang pembakaran *meso combustor*.
2. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diketahui bahwa : suhu dinding *combustor* ( $T_w$ ) tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  yang terkecil berukuran 5 mm dengan rata-rata suhu mencapai  $147,2^\circ\text{C}$ , sedangkan suhu ruang bakar ( $T_i$ ) tertinggi dihasilkan *combustor* dengan  $D_o$  terbesar berukuran 6 mm dengan rata-rata suhu sebesar  $742,6^\circ\text{C}$ .
3. Rasio luas permukaan dan volume (*surface to volume ratio*) sangat mempengaruhi perbedaan suhu dinding ( $T_w$ ) pada *combustor*. Semakin kecil  $D_o$  *combustor* akan meningkatkan nilai rasio. Rasio pebandingan yang besar

menyebabkan suhu dinding yang tinggi namun dengan *heat losses* yang semakin besar, begitu juga sebaliknya.

4. Aliran reaktan yang membentuk pusaran (*vortex*) pada area *sudden expansion* menjadi faktor yang mempengaruhi perbedaan suhu ruang bakar ( $T_i$ ) pada *combustor*. Semakin besar *vortex* maka akan menghasilkan suhu ruang bakar yang tinggi namun dengan kestabilan nyala api yang kurang baik karena *vortex* yang terlalu besar cenderung membawa massa yang berlebih dibandingkan suhu untuk reaksi pembakaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ju, Y., dan K. Maruta. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 669-715.
- Pan, J.F., J. Huang, D.T. Li, W.M. Yang, W.X. Tang dan H. Xue. 2007. Effects of major parameters on micro-combustion for thermophotovoltaic energy conversion. *Applied Thermal Engineering*. 27 : 1089–1095.
- Yang, W.M., S.K. Chou, C. Shu, Z.W. Li, dan H. Xue. 2002. Combustion in micro-cylindrical combustors with and without a backward facing step. *Applied Thermal Engineering*. 22: 1777-1787.
- J. Li, S.K. Chou, G. Huang, W.M. Yang dan Z.W. Li. 2009. Study on premixed combustion in cylindrical micro combustors : Transient flame behavior and wall heat flux. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 33 : 764–773.
- Walther D.C., Ahn J. 2010. Advances and challenges in the development

of power-generation systems at small scales. *Progress in Energy and Combustion Science* 37 (2011) 583e610.

Altay, H. M., Speth, R.L., Hudgins, D.E., Goniem, A.F., 2009, Flame–vortex interaction driven combustion dynamics in a backward-facing step combustor : *Combustion and Flame* 156 (2009) 1111–1125.