

ANALISIS PENGARUH SKALA DIAMETER *COMBUSTOR* DENGAN *SUDDEN EXPANSION* PADA PEMBAKARAN GAS LPG (*LIQUIFIED PETROLEUM GAS*) TERHADAP ENERGI *OUTPUT* PEMBAKARAN

Danang Muharyanto^{1*}, Santoso Mulyadi², Boy Arief Fachri²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: *danangmuhar46@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang begitu pesat dewasa ini sangat mempengaruhi jumlah ketersediaan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yang ada di permukaan bumi yang disebabkan oleh penggunaan sumber energi tersebut, yang sebagian besar dipergunakan sebagai bahan bakar untuk mendukung setiap aktifitas manusia. Proses pembakaran gas LPG terjadi di dalam combustor yang dibuat dengan menggunakan bahan tembaga (Cu). Combustor skala meso memiliki ukuran diameter dalam inlet 4,5 mm dan ukuran diameter dalam outlet divariasikan pada 5 mm, 5,5 mm dan 6 mm. Sedangkan pada combustor skala makro memiliki ukuran diameter dalam inlet 10 mm dan ukuran diameter dalam outlet divariasikan pada 11 mm, 12 mm dan 13 mm. Pengujian dilakukan dengan metode eksperimental untuk memperoleh data yang berupa temperatur dinding combustor dan temperatur nyala api. Data temperatur diolah menjadi data energi, selanjutnya dilakukan analisis energi output pembakaran menggunakan metode regresi berganda dengan menggunakan software minitab 16. Diperoleh hasil efisiensi 97,74% dengan besar energi output 328102 Watt pada skala meso dan diperoleh hasil efisiensi 2,26% dengan energi output 7602 Watt pada skala makro.

Kata Kunci: combustor, meso, makro, energi, seminar nasional, teknik mesin, universitas jember

PENDAHULUAN

Teknologi yang telah berkembang saat ini telah mendorong para ilmuwan untuk melakukan berbagai riset tentang pembakaran. Salah satunya adalah memperkecil peralatan pengkonversi energi. Diantaranya adalah pengurangan ukuran dalam sistem pembakaran dan sekaligus mengganti jenis bahan bakar yang semula menggunakan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas [1].

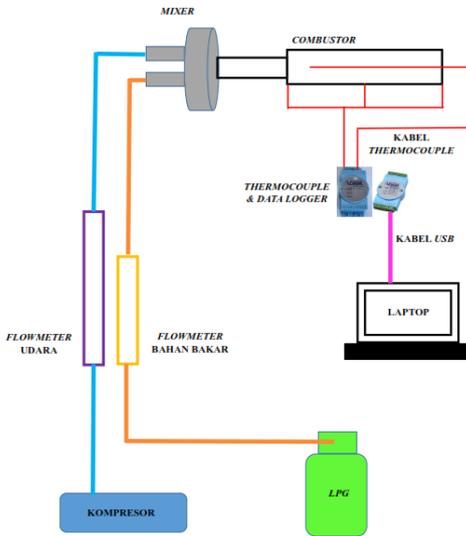
Meso scale-combustion atau pembakaran pada saluran ruang bakar dengan diameter sebesar 1-10 mm merupakan salah satu wujud pengembangan teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil. Pembakaran ini memiliki potensi untuk menghasilkan energi panas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik skala mikro atau disebut *Micro Power Generator (MPG)*. Komponen utama MPG adalah ruang bakar atau disebut *combustor*, dalam *combustor* tersebut berlangsung proses pembakaran skala *meso* [2].

Perbedaan ukuran diameter dari *combustor* sangat berpengaruh terhadap energi *output* pembakaran. Menurut Li, *et al.*, (2005) dalam penelitiannya yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi diameter *combustor* yang berbentuk silindris terhadap temperatur. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa semakin kecil ukuran dari diameter *combustor* maka temperatur

yang dihasilkan semakin tinggi sebagaimana ditampilkan pada diagram temperatur-radius yang juga semakin meningkat [2]. Dan penelitian yang dilakukan oleh Han *et al.*, (2016), membuktikan bahwa hasil dari simulasi nyala api dan studi numerik membuktikan bahwa pembakaran pada skala makro memiliki tingkat kecepatan detonasi nyala api yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan pembakaran pada skala mikro. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin cepat dan semakin besar tingkat ledakan pada proses penyalaaan api, akan berpengaruh terhadap kecepatan rambat nyala api dan energi kalor [1]. Pengembangan selanjutnya berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Li, *et al.*, (2013) dan Han *et al.*, (2016), dalam karya tulis ilmiah ini dilakukan pengamatan terhadap energi *output* pembakaran gas LPG pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro. Penelitian ini dilakukan dengan jalan memberikan variasi skala pembakaran pada pembakaran gas LPG, kemudian menganalisis energi *output* pembakaran dari *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro, sehingga dapat diperoleh suatu data pembanding antara besar energi yang dihasilkan pada pembakaran skala meso dan pembakaran skala makro yang berupa energi *output* pembakaran dan efisiensi pembakaran.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode desain eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi skala dan ukuran dari diameter *combustor* dengan *sudden expansion* terhadap karakteristik pembakaran dan energi kalor hasil pembakaran pada *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro.



Gambar 1. Skema rangkai peralatan penelitian

Data yang diperoleh dari hasil penelitian diolah menggunakan *software Microsoft excel* untuk memudahkan proses penyajian data nilai variabel terikat.

Tabel 1. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 1		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
5	300	16,5	16,5			
5,5						
6						

skala meso pada percobaan 1

Tabel 2. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 2		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
5	300	16,5	16,5			
5,5						
6						

skala meso pada percobaan 2

Tabel 3. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 3		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
5	300	16,5	16,5			
5,5						
6						

skala meso pada percobaan 3

Tabel 4. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 1		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
11	300	16,5	16,5			
12						
13						

skala makro pada percobaan 1

Tabel 5. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

skala makro pada percobaan 2

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 2		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
11	300	16,5	16,5			
12						
13						

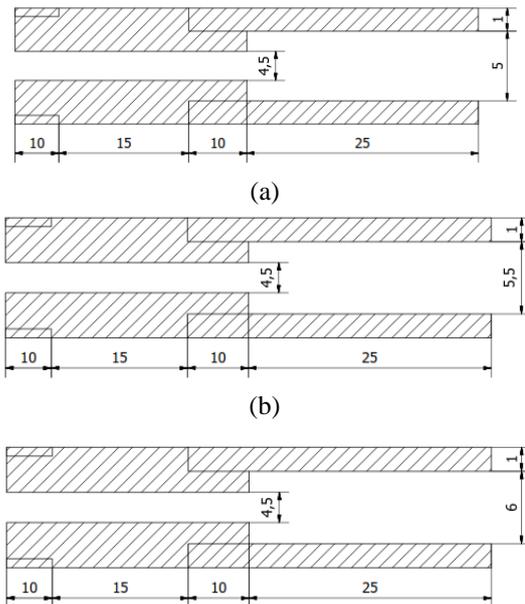
Tabel 6. Penyajian data hasil pengujian *combustor*

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Temperatur Api (°C)	Percobaan 3		
	Udara	Bahan Bakar		Temperatur Dinding A	Temperatur Dinding B	Outlet Combustor (°C)
11	300	16,5	16,5			
12						
13						

skala makro pada percobaan 3

Data hasil penelitian yang berupa temperatur nyala api dan temperatur dinding *combustor* diolah dengan cara menghitung beban hambatan *thermal* pada *combustor* terlebih dahulu. Setelah itu dilakukan perhitungan terhadap temperatur nyala api dan temperatur dinding *combustor* untuk mendapatkan nilai dari energi hasil pembakaran pada masing-masing *combustor*. Kemudian, dilakukan analisis pada nilai dari energi hasil pembakaran tersebut pada masing-masing skala *combustor*.

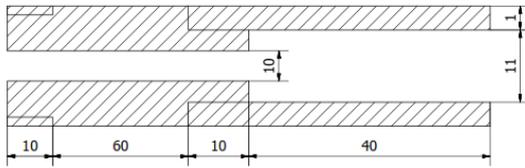
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *combustor* skala meso dan *combustor* skala makro dengan dimensi sebagai berikut:



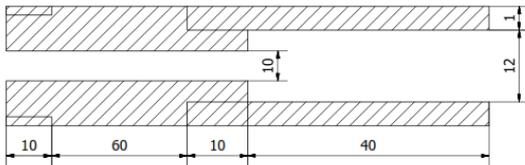
(c)

Gambar 2. Dimensi Combustor Skala Meso:

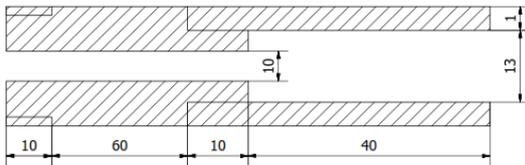
(a) 5 mm; (b) 5,5 mm; (c) 6 mm.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Dimensi Combustor Skala Makro:

(a) 11 mm; (b) 12 mm; (c) 13 mm.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *flowmeter* udara dan *flowmeter* bahan bakar, dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. *Flowmeter* udara

- a) Merek : Kofloc
- b) Seri : RK-1250
- c) Jenis : *Flowmeter* udara
- d) Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- e) Aliran Maks. : 500 ml/min
- f) Aliran Min. : 50 ml/min
- g) Skala Terkecil : 5 ml/min

b. *Flowmeter* bahan bakar

- a) Merek : Kofloc
- b) Seri : RK-1250
- c) Jenis : *Flowmeter* Propana dan Butana
- d) Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- e) Aliran Maks. : 20 ml/min
- f) Aliran Min. : 2 ml/min
- g) Skala Terkecil : 0,5 ml/min



Gambar 4. *Flowmeter* Udara dan *Flowmeter* Bahan Bakar

Dalam penelitian ini digunakan pula *thermocouple* dan *data logger*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. *Thermocouple*

- a) Power Consumption : 0.8 W @ 24 VDC
- b) Watchdog Timer : System (1.6 second) & Communication
- c) Support Protocol : ASCII command (ADAM-4018)
- d) Channels : 6 differential, and 2 single-ended
- e) Input Impedance : Voltage (20 MΩ)
- f) Input Type : Thermocouple, (mV, V, mA)
- g) Voltage/Current : ±15 mV,
- h) Input Range : ±50 mV, ±100 mV, ±500 mV, ±1 V, ±2.5 V, ±20 mA

b. *Data Logger*

- a) Network : USB-type A connector (type A to type B cable provided)
- b) Serial : 1 x plug-in terminal (#14 ~ 22 AWG), (3-wire RS-232/422/485)
- c) Isolation Voltage : 3,000 VDC
- d) Power Consumption : 1.5 W @ 5 V
- e) Driver Support : Windows 2000/XP/Vista/7/8 (32&64-bit)
- f) USB Specification Compliance: USB 2.0
- g) Speed Modes (bps) : 600 bps to 115.2 kbps
- h) Transmission Modes : Full/half duplex, bidirectional



Gambar 5. Thermocouple dan data logger

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 1			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
5	300	16,5	893,8294444	173,5661111	156,0455556	101,8355556
5,5			666,8922222	172,5194444	143,1433333	119,3833333
6			677,515	148,8144444	138,8538889	115,4077778

meso pada percobaan 1

Tabel 8. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 2			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
5	300	16,5	840,2733333	262,5005556	230,5172222	193,3877778
5,5			764,39	149,4416667	134,3105556	125,2566667
6			732,0766667	136,1216667	120,8838889	108,1322222

meso pada percobaan 2

Tabel 9. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 3			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
5	300	16,5	713,05	167,0844444	124,5983333	120,3527778
5,5			727,6433333	174,105	145,5716667	118,655
6			1015,089444	151,255	138,2116667	114,6327778

meso pada percobaan 3

Tabel 10. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 1			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
11	300	16,5	706,6638889	63,7761111	60,6016667	56,9227778
12			631,2633333	87,1477778	57,0783333	47,7627778
13			624,925	57,5988889	56,7744444	51,2638889

makro pada percobaan 1

Tabel 11. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 2			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
11	300	16,5	574,2027778	53,19664804	52,2383333	47,9166667
12			584,4111111	58,355	60,8294444	52,5866667
13			611,8966667	66,7988889	62,8733333	54,445

makro pada percobaan 2

Tabel 12. Data hasil pengujian *combustor* skala

Diameter Outlet Combustor (mm)	AFR (ml/min)		Percobaan 3			
	Udara	Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)	Temperatur Dinding Outlet Combustor (°C) Dinding A	Dinding B	Dinding C
11	300	16,5	653,02	58,8277778	53,60726257	50,335
12			562,4272222	57,38	53,2722222	48,5683333
13			657,65	57,0188889	54,7544444	51,3933333

makro pada percobaan 3

PEMBAHASAN

Data temperatur selanjutnya diubah menjadi data energi dan dilakukan perbandingan antara data energi pada *combustor* skala meso terhadap *combustor* skala makro.

Dari hasil perbandingan, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 13. Perbandingan energi *output* pembakaran

Diameter Outlet Combustor (mm)	Skala Meso	Skala Makro	Energi Output Pembakaran (Watt)			
			Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-Rata
5	5	11	5896,768137	5863,895751	5664,528897	5808,397595
5	5	12	5961,611247	5899,55983	5697,724363	5852,965147
5	5	13	5964,457387	5942,085504	5732,222256	5879,588382
5,5	5,5	11	6085,976845	5829,891302	6114,609085	6010,159077
5,5	5,5	12	6150,819955	5865,555381	6147,804552	6054,726629
5,5	5,5	13	6153,666095	5908,081054	6182,302445	6081,349865
6	6	11	6267,571627	6217,505992	6343,186781	6276,088133
6	6	12	6332,414737	6253,170071	6376,382248	6320,655685
6	6	13	6335,260877	6295,695744	6410,880141	6347,278921

pada skala meso dan skala makro

Analisis Energi Output Pembakaran Gas LPG

Pengolahan data analisis dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16 untuk mendapatkan perhitungan ANOVA dan persen kontribusi (ρ%) melalui metode statistik regresi berganda yang juga digunakan sebagai nilai efisiensi dari *combustor* pada skala meso dan skala makro.

Dari hasil perhitungan, diperoleh hasil ANOVA sebagai berikut:

Tabel 14. Hasil Analysis of Variance (ANOVA)

untuk energi output pembakaran

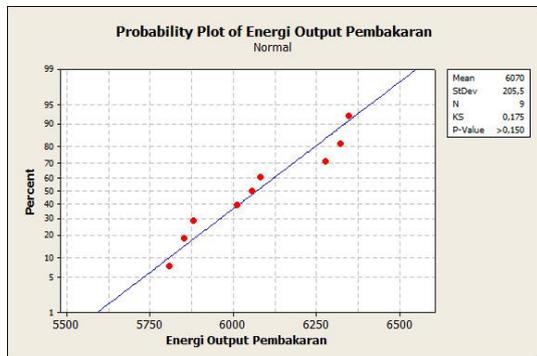
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	335704	167852	453,71	0,000 *
Residual Error	6	2220	370		
Total	8	337924			

S = 19,2342 R-Sq = 99,3% R-Sq(adj) = 99,1%

*Signifikan

Dari hasil perhitungan ANOVA kemudian dilakukan uji-F dengan membandingkan nilai *f-ratio* hasil perhitungan dengan nilai *f-table*. Faktor yang memiliki nilai *f-ratio* lebih besar dari *f-table* maka dapat disimpulkan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pada tingkat level kepercayaan 95% (α = 0,05) didapatkan nilai *f-table* yaitu $F_{(0,05;2;6)} = 5,14$ sehingga didapatkan faktor yang memiliki pengaruh signifikan yaitu skala diameter *combustor* dan energi *output* pembakaran.

Selanjutnya dilakukan uji kenormalan data dengan menggunakan uji residual untuk mengetahui hasil plot antara residual dengan hasil taksiran respon dan hasil plot antara residual dengan order (prediktor).



Gambar 6. Grafik probabilitas normal residual untuk energi output pembakaran

Dari uji residual yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa titik residual mendekati garis linear. Sehingga dapat disimpulkan bahwa uji residual mengikuti distribusi normal. Selanjutnya pada uji Kolmogrov-Smirnov (KS), dari tabel uji statistik KS diperoleh nilai statistik KS 0,387 untuk $\alpha = 0,05$ dan jumlah pengamatan sebanyak 9 pengamatan (uji 1 arah) [4].

Nilai statistik KS pada gambar 4. adalah 0,175. Nilai tersebut menunjukkan bahwa asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi orde satu telah terpenuhi [4].

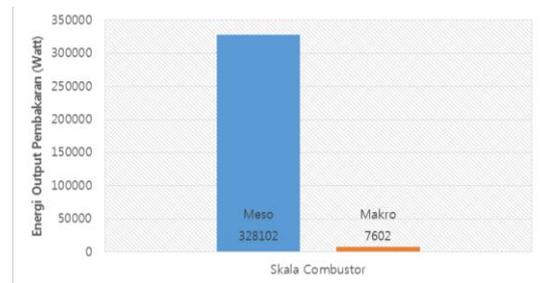
Setelah data diuji tingkat kenormalannya, selanjutnya diperoleh hasil persen kontribusi dari ANOVA kemudian dilakukan perbandingan efisiensi pembakaran pada combustor skala meso dan combustor skala makro.

Tabel 15. Hasil analisis persen kontribusi energi

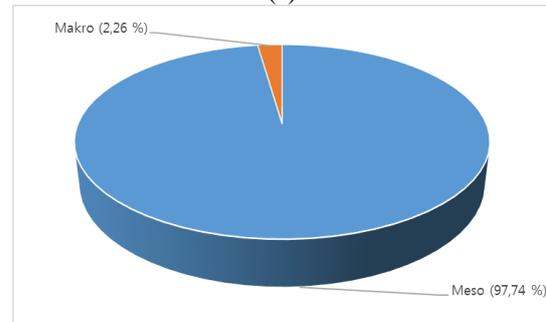
Skala Combustor	Energi Output Pembakaran (Watt)	p%
Meso	328102	97,73550509
Makro	7602	2,264494912
Jumlah	335704	100

output pembakaran pada skala meso dan skala makro

Selanjutnya dilakukan visualisasi berdasarkan hasil analisis persen kontribusi yang disajikan dalam grafik pada gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Perbandingan energi output pembakaran pada combustor skala meso dan makro (b) Perbandingan efisiensi pembakaran pada combustor skala meso dan makro

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis energi output pembakaran gas *Liquid Petroleum Gas* (LPG) pada combustor skala meso dan combustor skala makro diperoleh kesimpulan bahwa energi output pembakaran pada combustor skala meso adalah sebesar 328102 Watt dengan tingkat efisiensi pembakaran 97,74% dan energi output pembakaran pada combustor skala makro adalah sebesar 7602 Watt dengan efisiensi pembakaran 2,26%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa combustor skala meso memiliki energi output pembakaran dan efisiensi pembakaran yang lebih besar dibandingkan dengan combustor skala makro. Dan dapat diketahui bahwa perbedaan diameter combustor memiliki pengaruh yang cukup besar pada energi output pembakaran dan efisiensi pembakaran.

SARAN

Dalam penelitian dan analisis yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian masih terbatas pada tembaga (Cu) sebagai material combustor, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat memvariasikan beberapa material combustor untuk dilakukan pengujian energi output pembakaran.
2. Pada penelitian ini, tingkat heat losses belum diketahui secara pasti, untuk selanjutnya dapat dikaji ulang tentang besarnya tingkat heat losses yang terjadi.

3. Penelitian ini dilakukan pada ruangan terbuka, pada penelitian selanjutnya diharapkan penelitian dilakukan pada ruangan terisolir, sehingga energi adiabatik dari combustor dapat diketahui.
4. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini masih terbatas pada gas LPG, untuk selanjutnya penelitian dapat dilakukan dengan beberapa variasi bahan bakar.
5. Pengujian combustor pada penelitian ini diuji pada udara bebas, pada penelitian selanjutnya diharapkan pengujian combustor dilakukan pada alat heat exchanger sehingga dapat diketahui unjuk kerja dari combustor pada alat heat exchanger.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Han, W., Gao, Y., & Law, C.K. 2016. "Flame Acceleration and Deflagration-To-Detonation Transition In Micro and Macro-Channels: An Integrated Mechanistic Study", 176. 285-298.
- [2] Ju, Y., dan Maruta, K. 2011. "Microscale Combustion: Technology development and fundamental research. Science Direct. Progress in Energy and Combustion Science". Vol.(xxx): 1 – 47.
- [3] Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. "Combustion in micro-cylindrical combustor with and without a backward facing step". Applied Thermal Engineering. Vol. (22): 1777-1787.
- [4] Iriawan, Nur dan Astuti, P. Septin, 2009. Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14. Jakarta : Andi Publisher