

STUDI EKSPERIMENTAL OUTPUT ENERGI PEMBAKARAN PADA MESO-SCALE COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION DAN WIRE MESH SEBAGAI FLAME HOLDER

Andi Sanata^{1*}, Salahuddin Junus^{1*}, Ryan Dwi Prasetyo^{2*}

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, 68121

² Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, 69121

Email: *ryandwip96@gmail.com

ABSTRAK

Meso-combustion atau pembakaran di dalam ruang bakar dengan diameter 1-10 mm merupakan salah satu bentuk teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil yang sedang dikembangkan oleh para ilmuwan. Perkembangan meso-combustion ini mengkaji penggunaan wire mesh pada bagian combustor. Wiremesh meningkatkan perpindahan panas dari dinding panas ke gas yang tidak terbakar. Besar kecilnya diameter ruang bakar juga sangat mempengaruhi daerah kestabilan nyala api. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi utama berupa penggunaan wiremesh ukuran 30, 60, dan 90 serta diameter masuk ruang bakar 3,3 mm dan 4,2 mm dengan diameter keluaran ruang bakar konstan sebesar 4,7 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keluaran energi dan efisiensi yang paling optimal dihasilkan pada variasi diameter inlet = 3,3mm dan wiremesh 90.

Keywords: Pembakar skala meso, wiremesh, keluaran energi, efisiensi.

PENDAHULUAN

Pada era sekarang ini, hampir di setiap kegiatan kita menggunakan alat-alat yang membutuhkan energi/bahan bakar. Penggunaan sumber energi dengan jumlah besar yang tidak diimbangi dengan jumlah ketersediaan sumber energi yang ada di bumi ini menjadi alasan manusia harus memanfaatkan dan mengelola sumber energi yang bersifat permanen jika dikelola dengan baik atau dapat disebut energi yang dapat diperbarui (*Renewable Energy*). Salah satu riset mengenai *renewable energy* yang sekarang ini tengah diteliti oleh para ilmuwan adalah tentang pembakaran dengan cara memperkecil alat pengkonversian energinya. Selain itu, bahan bakar yang digunakan gas butana yang memiliki *gross heating value* cukup besar [1].

Meso-combustion atau pembakaran pada saluran ruang bakar dengan diameter sebesar 1-10 mm ini adalah salah satu bentuk dari teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil yang tengah dikembangkan oleh para ilmuwan. Pembakaran skala *micro* /

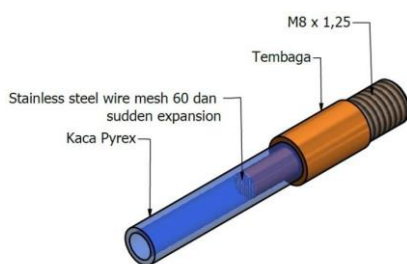
meso sangat potensial untuk dijadikan sumber energi baru yang padat untuk sistem yang membutuhkan energi dalam *volume* yang relatif kecil seperti peralatan elektronik[2]. Melalui pembakaran ini, ada potensi energi panas yang dapat dihasilkan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik skala mikro atau yang sering disebut dengan *Micro Power Generator* (MPG). Di dalam MPG ada komponen utama yang disebut ruang bakar atau *combustor*.

Pengembangan dalam *meso-combustion*, meneliti tentang penggunaan wire mesh pada bagian combustornya. Mesh meningkatkan perpindahan panas dari dinding panas ke gas yang tidak terbakar. Untuk campuran bahan bakar dan udara, nyala api dapat distabilkan di dekat mesh di dalam tabung tanpa pemanasan eksternal dengan perputaran panas dari gas yang terbakar ke gas yang tidak terbakar melalui konduksi panas di dinding dan mesh. Oleh karena itu, wire mesh dapat bertindak sebagai inhibitor pembakaran atau penambah[3].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan ialah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi *outer diameter* pada *meso-scale combustor* dengan *wire mesh* dan *sudden expansion* sebagai *flame holder* terhadap suhu api, energi *output*, serta efisiensi pembakaran yang dihasilkan secara uji eksperimental. Sedangkan metode pengolahan data yang digunakan pada penelitian ini ialah metode kualitatif. Metode ini dilakukan dengan cara mengukur suhu api menggunakan *thermocouple* yang ditempelkan pada tiap titik di dinding *combustor* dan pada api stasionernya. Kemudian dari suhu api yang dihasilkan, dilakukan penghitungan energi *output* dan juga efisiensi pembakarannya. Data-data tersebut selanjutnya disajikan dalam tabel dan juga dalam bentuk grafik sehingga mudah dianalisis.

Combustor yang digunakan ini terdiri dari empat komponen yaitu komponen masukan (*input*) yang terbuat dari tembaga, 2 variasi diameter *inlet* pipa *combustor*, 3 variasi *Wiremesh* dan keluaran (*output*) yang berbahan borosilikat. Sketsa dimensi *meso scale combustor* dapat di lihat pada gambar 1 berikut ini.

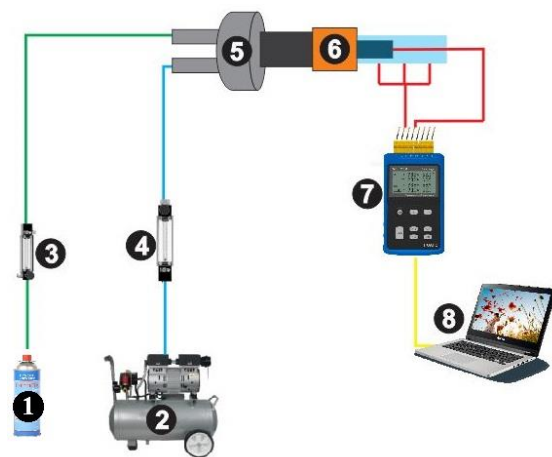


Gambar 1. *Meso-scale combustor*

Bahan bakar yang digunakan ialah gas butana dengan udara sebagai oksidator yang disuplai kompresor dengan tekanan tetap, yakni 1 atm. Bahan bakar dan udara dialirkan menuju dua jenis *flow meter* yang berbeda, yakni *flow meter* bahan bakar dan *flow meter* udara. Pada *flow meter*, bahan bakar dan udara diatur debitnya sesuai dengan debit yang ditentukan. Kemudian,

dari *flow meter* selanjutnya bahan bakar dan udara dialirkan menuju *mixer* sehingga dua zat tersebut dapat bercampur dan menjadi homogen.

Selanjutnya campuran bahan bakar dan udara dialirkan menuju *combustor* skala meso sebagai bahan dasar dalam reaksi pembakaran di dalam *combustor*. Setelah api menyala, dilakukan pengukuran suhu dengan memasang *thermocouple* pada tiap titik di dinding *combustor* dan pada api stasionernya. Selanjutnya, hasil pengukuran suhu tersebut diolah dengan menggunakan *laptop*. Skema peralatan dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Skema alat penelitian

METODE PENGAMBILAN DATA

Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan nilai debit bahan bakar dan debit udara dimana api dapat menyala dengan stabil pada beberapa variasi *meso-scale combustor* dengan *flame holder sudden expansion* dan *wire mesh*. Debit bahan bakar (Q_f) divariasikan pada ekuivalen rasio (Φ) = 1 dari nilai 4,5 ml/min hingga 12,5 ml/min, sedangkan nilai debit udara (Q_a) divariasikan pada ekuivalen rasio (Φ) = 1 dari nilai minimum 165 ml/min hingga 395 ml/min.

Data hasil penelitian kemudian menghasilkan data pada Tabel 1. sebagai berikut:

Tabel 1. Data debit bahan bakar dan udara

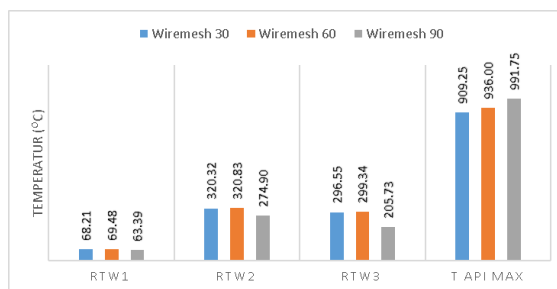
Dinlet Combus- tor (mm)	Q _f (ml/ min)	Q _a (ml/ min)	Φ	V (cm/s)
3,3	6,02	185,44	1,00	37,33
	6,55	202,53	1,00	40,76
	7,09	225,31	1,00	44,20
	7,62	236,70	1,00	47,63
	10,28	316,45	1,00	63,70
	10,81	333,53	1,00	67,13
	11,34	350,62	1,00	70,57
	11,87	367,71	1,00	74,00
	12,40	384,80	1,00	77,44
	12,94	401,89	1,00	80,87
14,53	447,45	1,00	90,07	
4,2	6,02	185,44	1,00	23,04
	6,55	202,53	1,00	25,16
	7,09	225,31	1,00	27,29
	7,62	236,70	1,00	29,41
	10,28	316,45	1,00	39,32
	10,81	333,53	1,00	41,44
	11,34	350,62	1,00	43,57
	11,87	367,71	1,00	45,69
	12,40	384,80	1,00	47,81
	12,94	401,89	1,00	49,93
14,53	447,45	1,00	55,60	

Dari data tersebut, selanjutnya dilakukan pengukuran suhu yang dihasilkan oleh pembakaran tiap variasi v reaktan. Data tersebut disederhanakan dengan cara menghitung rata-rata tiap variasinya sehingga menjadi data suhu variasi diameter inlet dan wiremesh seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. sebagai berikut.

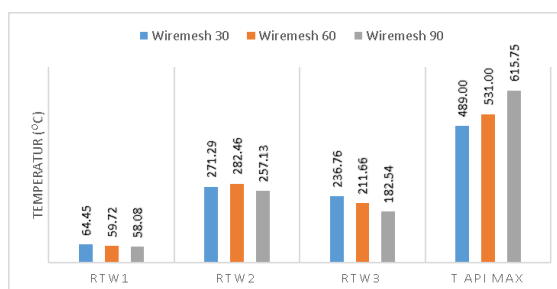
Tabel 2. Rata-rata suhu pada tiap variasi

D in (mm)	Wire mesh	RTW1 °C	RTW2 °C	RTW3 °C	T api Max °C
3,3	30	68,21	320,32	296,55	909,25
	60	69,48	320,83	299,34	936,00
	90	63,39	274,90	205,73	991,75
4,2	30	64,45	271,29	236,76	489,00
	60	59,72	282,46	211,66	531,00
	90	58,08	257,13	182,54	615,75

Setelah didapatkan tabel seperti di atas, selanjutnya data tersebut diolah menjadi grafik sehingga mempermudah penilaian secara visual pengaruh masing-masing variasi terhadap perbandingan suhu yang dihasilkan. Penyajian grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. Grafik perbandingan temperatur antar wiremesh pada D_{in} = 3,3 mm



Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur antar wiremesh pada D_{in} = 4,2 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Suhu api yang dihasilkan

Sebagaimana diameter *outer combustor* semakin kecil, daerah stabilitas api di dalam tabung juga semakin terbatas atau susah terjadi stabilitas nyala api[4]. Stabilitas nyala api tersebut juga mempengaruhi temperatur nyala api, semakin tidak stabil nyala api, maka temperatur yang dihasilkan semakin kecil. Lalu pada *combustor* ada *sudden expansion* atau perubahan diameter yang mendadak (dari kecil ke besar) hal tersebut menyebabkan *vortex* (gerakan memusar) sehingga temperatur yang dihasilkan dari pembakaran menjadi semakin panas[5]. Lalu, pada hasil yang didapatkan adalah dinlet 3,3mm memiliki temperatur paling optimal dengan nilai 991,75 °C, sedangkan temperatur paling rendah dihasilkan pada d_{inlet} 4,2mm dengan nilai 489,00 °C. Lalu suhu dinding paling optimal dihasilkan oleh *combustor* 3,3mm dengan nilai 320,83 °C, sedangkan suhu dinding paling rendah dihasilkan oleh *combustor* 4,2mm dengan nilai 58,08 °C.

Kemudian pada variasi *wiremesh*, suhu api yang paling optimal dihasilkan pada

wiremesh 90 sebesar 991,75 °C sedangkan suhu api paling rendah dihasilkan pada wiremesh 30 dengan nilai sebesar 489,00 °C. Lalu suhu dinding yang paling optimal dihasilkan oleh wiremesh 60 dengan nilai 320,83 °C, sedangkan suhu dinding paling rendah dihasilkan oleh wiremesh 90 dengan nilai 58,08 °C, hal tersebut terjadi karena wiremesh berfungsi untuk memperbesar perpindahan panas dari panas yang dihasilkan dinding ke sisa gas yang tidak terbakar [6].

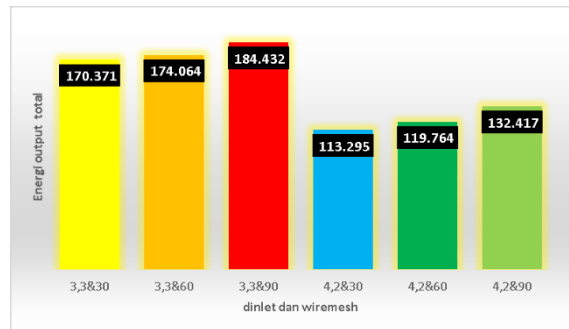
2. Energi output dan efisiensi pembakaran

Setelah didapatkan data suhu tersebut, lalu menghitung beban hambatan thermal hingga mendapat nilai hambatan thermal sebesar 7,156°K/W. Kemudian, setelah menghitung beban hambatan thermal, selanjutnya menentukan nilai energi input pembakaran. Selanjutnya, dari hasil perhitungan secara stoikiometri, energi input dari reaksi pembakaran gas butana adalah sebesar -3.328 KJ/mol. Lalu, setelah mendapatkan hambatan thermal dan energi input maka dapat menghitung energi output pembakaran pada api dan juga dinding. Setelah didapatkan energi output pembakaran pada api dan juga dinding, keduanya ditotal sehingga dapat menghasilkan energi output total seperti pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Total energi output pembakaran pada combustor.

Combustor (mm)	Wiremesh	Energi Output Total (Watt)
3,3	30	170,371
	60	174,064
	90	184,432
4,2	30	113,295
	60	119,764
	90	132,417

Selanjutnya, untuk memudahkan dalam melakukan perbandingan secara visual, tabel di atas disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Grafik perbandingan energi output total terhadap variasi D_{inlet} dan wiremesh

Hasil energi output total paling optimal dihasilkan oleh variasi d_{inlet} 3,3mm dan wiremesh 90 dengan nilai 184,432 Watt, sedangkan nilai energi output total paling rendah dihasilkan pada variasi d_{inlet} 4,2mm dan wiremesh 30 sebesar 113,295 Watt. Setelah mendapatkan energi output total, selanjutnya dapat diolah untuk mendapatkan nilai efisiensinya dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{(\text{Energi Output Total})}{(\text{Energi Input})} \times 100\%$$

Selanjutnya, dari rumus tersebut dihasilkan efisiensi pembakaran seperti pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Efisiensi pembakaran pada combustor

Combustor (mm)	Wiremesh	Efisiensi Pembakaran (%)
3,3	30	5,12
	60	5,23
	90	5,54
4,2	30	3,40
	60	3,60
	90	3,98

Nilai efisiensi yang paling optimal dihasilkan pada variasi d_{inlet} 3,3mm dan wiremesh 90 sebesar 5,54%, sedangkan nilai efisiensi paling rendah dihasilkan pada variasi d_{inlet} 4,2mm dan wiremesh 30 sebesar 3,40%. Efisiensi yang kecil dalam penelitian ini diakibatkan karena pengambilan data yang hanya pada api stasioner, dan mengabaikan energi panas yang mengalir pada api tersebut, serta

pengaruh dari konduktivitas termal dari kaca borosilikat yang hanya 1,4 W/m²K sehingga mempengaruhi efisiensi juga.

KESIMPULAN

Dari tahapan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *combustor* dengan diameter *inlet* yang lebih kecil 3,3 mm memiliki suhu yang lebih optimal. Selain itu, kedua variasi tersebut juga menghasilkan energi *output* serta efisiensi pembakaran yang lebih optimal. Hal tersebut terjadi karena adanya *sudden expansion* sehingga pembakaran menjadi maksimal. Hasil yang optimal juga dihasilkan oleh variasi *wiremesh* 90 (rapat). Hal tersebut terjadi karena fungsi dari *wiremesh* itu sendiri yang berfungsi sebagai *flame holder* sehingga api tetap menyala stabil di dekat *combustor*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press.
- [2] Ju, Y. dan K. Maruta. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 669-715.
- [3] Munir, Fudhail Abdul dan Mikami M. 2015. *Modeling of Propane-air Combustion in Meso-scale Tubes with Wire Mesh*. Japan. Yamaguchi University.
- [4] 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.
- [5] Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. *Combustion in Micro-Cylindrical Combustors With and Without a Backward Facing Step*. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore.
- [6] Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T., dan Yuliati, L. 2012. *Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-Scale Tubes with Wire Mesh*. Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Japan.