ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

PANJANG RUAS PENGUAPAN TERHADAP KESTABILAN NYALA HEKSANA PADA *PEMBAKAR SKALA MESO*

Achmad Fauzan Hery Soegiharto [1], Adi Suyanto [2], Mohamad Irkham Mamungkas [3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:
Achmad Fauzan Hery Soegiharto
Jl. Raya Tlogomas No.246, Malang 65144
Telp. (0341) 464318-128 Fax. (0341) 460782
E-mail: achmadfauzan@umm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini terkait dengan upaya menyetabilkan nyala bahan bakar cair, heksana di dalam pembakar skala meso. Pembakar skala meso tersususun atas ruas penguapan, ruang pemisah dan ruang pembuangan dengan diameter dalam 3,5 mm. Ruas penguapan , dan pemegang nyala, terbuat dari duralumin., Penelitian ini bertujuan mengetahui panjang ruas penguapan yang dapat digunakan menyetabilkan nyala hesana. Pada penelitian ini digunakan ruas penguapan, dengan panjang 5mm dan 8 mm.. Pembakar skala meso dengan ruas penuapan 5mm dapat menyetabilkan nyala pada rasio ekuivalen ϕ0,73-1,28 dengan temperatur 803,8ºC. Sedangkan pembakar skala meso dengan ruas penuapan 8 mm dapat menyetabilkan nyala pada rentang lebih sempit yaitu pada rasio ekuivalen ϕ0,73-1,28 dengan temperatur 803,8ºC. Sehingga untuk menyetabilkan nyala heksana direkomendasikan pembakar skala meso dengan ruas penguapan 5mm.

Kata kunci: *Mesoscale Combustor, ruas penguapam, Pemegang nyala, Flammability limits, Heksana*

1. Pendahuluan

Salah satu komponen penting dari *micropower generator* adalah *pembakar skala meso*. *Pembakar skala meso* berperan sebagai penghasil panas yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui thermoelectric / thermophoto-voltaic[1][2], [3]. [4]

Fungsi utama dari *pembakar skala meso* adalah membuat nyala bahan bakar hidrokarbon didalamnya, sehingga menimbulkan panas. Membuat nyala didalam mesoscale combustor adalah sulit, karena singkatnya waktu tinggal reaktan dan tingginya kehilangan panas. Tingginya kehilangan panas disebabkan rasio luas permukaan terhadap kecilnya volume ruang pembakaran, yang beresiko pada terjadinya pendinginan nyala. Selain itu, kecilnya ruang pembakaran juga menyebabkan pendeknya waktu tinggal bahan bakar dan oksidator, sehingga tidak cukup waktu terjadinya aktivasi reaksi pembakaran. Semua aspek tersebut menyebabkan nyala padam atau nyala tidak stabil [5][6]–[8][4], [6], [9].

Salah satu cara menyetabilkan nyala bahan bakar cair dalam pembakar skala meso tabung kuarsa adalah menggunakan resirkulator kalor berbahan tembaga [10] dan menggunaka resirkulator kalor berbahan *stainless steel* [11]. Resirkulator kalor pada penelitian tersebut juga berfungsi sebagai piranti penguapan bahan bakar cair heksana, sehingga dapat pula disebut sebagai ruas penguapan. Resirkulator kalor atau disebut sebagai ruas penguapan, berfungsi menghantarkan kalor dari nyala reaktan, Reaktan menjadi lebih panas dan menguap dan selanjutnya akan terbakar di zone pembakaran atau zone nyala. Sebagi akibatnya, jika pengambilan kalor terjadi terlalu besar, maka nyala menjadi dingin, dan berakibat padam. Ruas penguapan memiliki ruang annulus, dimana bahan bakar cair diinjeksikan bersama dengan udara pembakaran. Di dalam ruang annulus inilah terjadi penguapan bahan bakar dan terjadi percampuran dengan udara. Sebagai resirkulator kalor, tembaga memiliki kelebihan yaitu nilai konduktivitasnya yang tinggi, jauh lebih tinggi dari stainless steel. Namun begitu tembaga memiliki sifat mudah terdeformasi pada suhu tinggi, sehingga terjadi ruas penguapan mudah rusak. *Stainless steel* yang memiliki ketangguhan tinggi, justru konduktivitasnya rendah. Efektifitas ruang penguapan dipengaruhi luas kontak permukaan annulus dengan bahan bakar. Semakin luas, semakin cepat atau semakin besar kalor yang dihantarkan ke reaktan, semakin mudah reaktan panas, dan menguap. Hanya saja jika terlalu luas maka terlalu besar pula kalor diserap dari nyala, justru

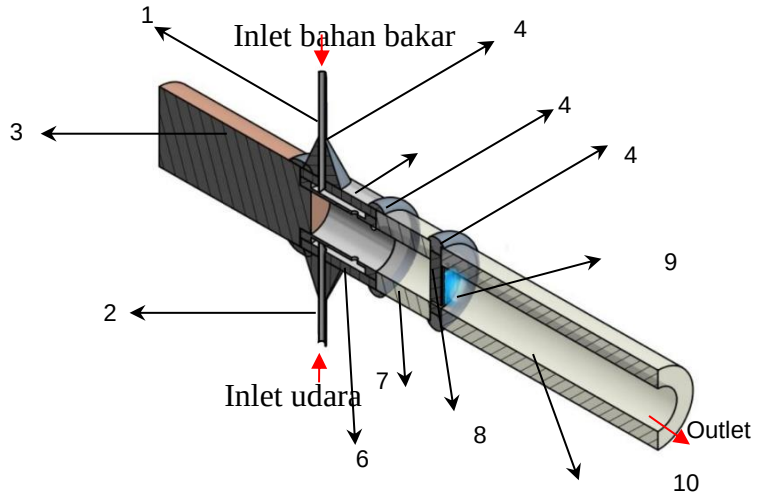
ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

menyebabkan nyala padam. Oleh sebab itu perlu luas kontakyang tepat atau panjang annulus yang tepat agar terjadi nyala stabil heksana dalam *pembakar skala meso.* Naskah ini membahas penelitian panjang ruas penguapan terhadap kestabilan nyala heksana pada *pembakar skala meso*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua pembakar skala meso *duraluminium*-tabung kuarsa dengan diameter ruang bakar 3,5 mm. pemegang nyala jenis *perforated plate lines* dengan ketebalan 1 mm, berbahan *duraluminium* disisipkan diantara ruas pemisah dan bagian hilir (*outlet*). Pembakar skala meso memiliki bagian utama, sebagai berikut :

1). Ruas penguapan atau resirkulator kalor. Berbahan *duraluminium*,
2). Ruas pemisah terbuat dari *quart glass tube*,
3). Pemegang nyala (*pemegang nyala*) terbuat dari *duraluminium*,
4). Ruas nyala dan pembuangan terbuat dari *quart glass tube*.



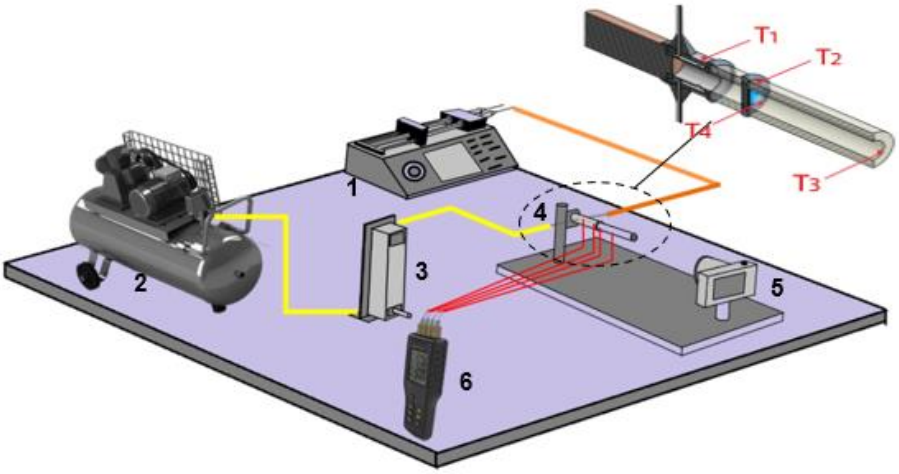
Gambar 1. Bagian-bagian *meso-scale combustor*

Keterangan gambar:
1). Inlet Udara (Oksidator), 2). Inlet Bahan Bakar, 3). Keramik, 4). Perekat Keramik,
5). Ruas penguapan, 6). *Mixing Chamber*, 7). Ruas pemisah, *Quart-Glass Tube*,
8). Pemegang nyala, 9). Nyala Api, 10). Ruas nyala dan pembuangan, *Quart Glass Tube.*

Digunakan dua macam *meso-scale combustor*. Tipe A memiliki ruas penguapan dengan panjang 5 mm, sedangkan tipe B memiliki ruang penguapan dengan panjang 8 mm.

Bahan bakar cair digunakan hekana (C_6H_{14}) disuntikan ke mesoscale combustor menggunakan *syringe pump*. Udara dipasok dari tangki udara (kompresor), dan debit dikendalikan oleh flowmeter udara. Pemanasan eksternal dilakukan untuk pemanasan awal dan penguapan. Sebuah pematik digunakan untuk menyalakan di bagian hilir (outlet) combustor. Setelah api menyala didekat pemegang nyala, pemanasan eksternal dihentikan. Api tetap menyala akibat panas yang bersirkulasi dari pemegang nyala, sisipan quart glass tube dan resirkulator kalor. Visualisasi nyala api didokumentasikan menggunakan kamera. Termokopel type K di hubungkan ke akuisisi data untuk mengukur temperatur yang terjadi pada *meso-scale combutor*.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

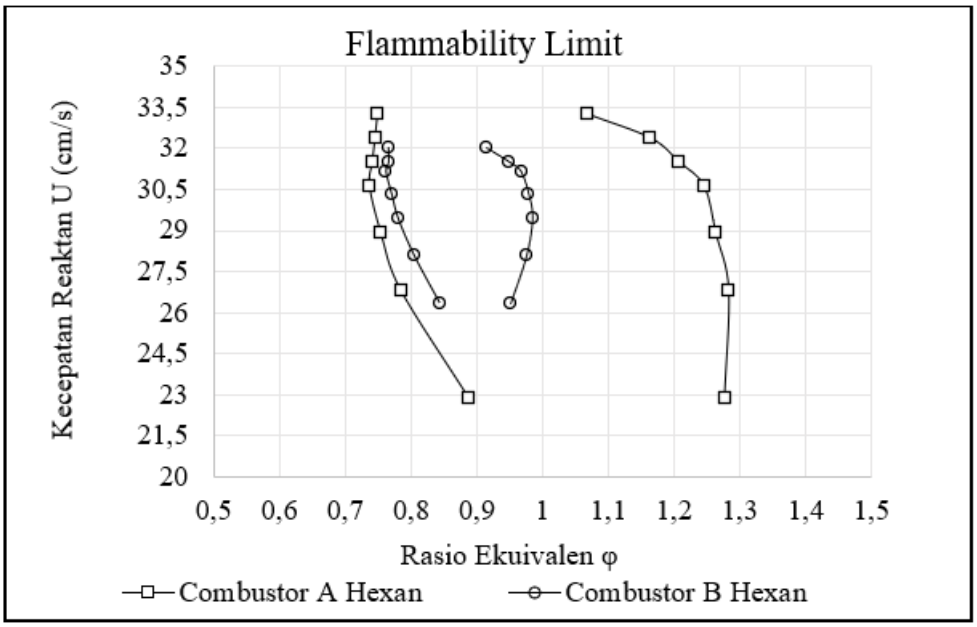


Gambar 2. Instalasi penelitian untuk bahan bakar cair
1). *Syringe Pump*, 2). Kompresor, 3). Flowmeter Udara, 4). *Mesoscale Combustor*,, 5). Kamera, 6). *Thermocouple*/Akuisisi Data

Keterangan gambar 4 :
: Saluran Bahan bakar
: Saluran Udara
: Kabel (*probe wire*) *Thermocouple*

3. Hasil dan Pembahasan

Nyala heksana berhasil distabilkan di dalam *meso-scale combustor* tipe A dan tipe B. Ruas penguapan berfungsi untuk penguapan mula bahan bakar sekaligus pemanasan mula reaktan. Reaktan yang digunakan adalah bahan bakar cair (hexana) dan oksidator (udara). Kalor pembakaran dari nyala mengalir ke hulu secara konduksi melalui ruas pemisah, ke ruas penguapan, sehingga ruas penguapan menjadi panas. Bahan bakar yang terdapat pada ruang penguapan menjadi panas dan menguap, bercampur dengan oksidator (udara) kemudian mengalir masuk ke ruang pembakaran melalui pemegang nyala. Pemegang nyala yang panas oleh nyala, memanaskan sekali reaktan. Reaktan kemudian memasuki area pembakaran dan terbakar.



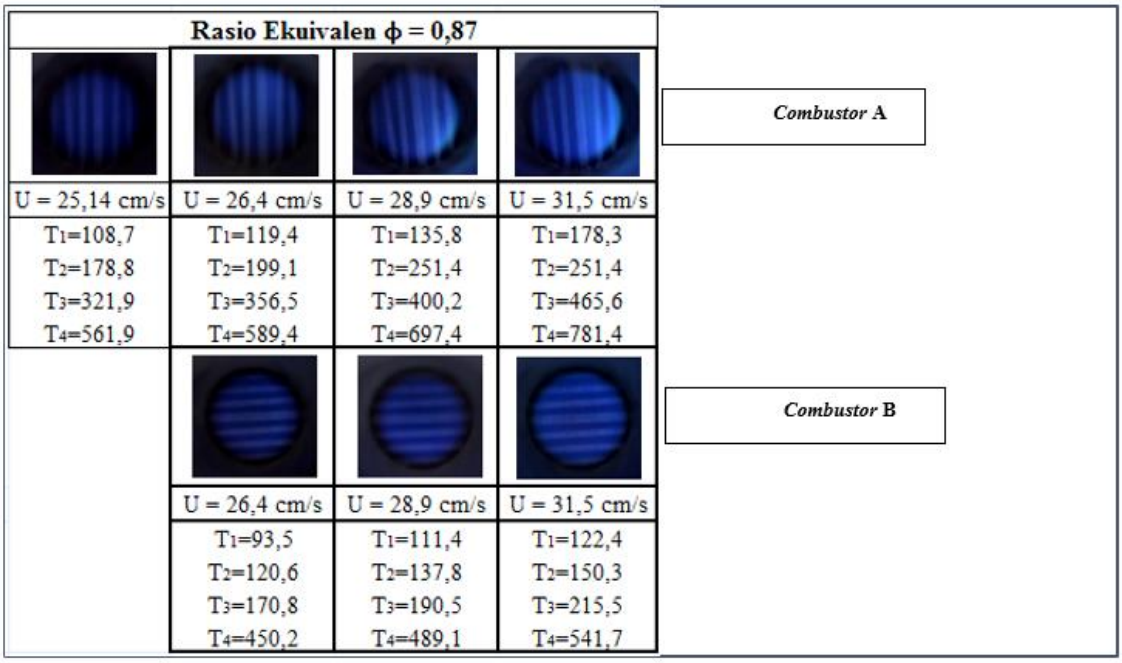
Gambar 3. Batas Nyala Combustor A dan B

Gambar 3 adalah grafik kemampu nyalaan atau disebut juga grafik kestabilan nyala (flammability limits) nyala combustor A dan B. Terdapat dua kurva, di sisi kiri dan kurva di sisi kanan. Sisi kiri adalah batas mampu nyala minimal. Artinya, pada rasio ekivalen kurang dari batas tersebut reaktan terlalu miskin, sehingga tidak akan terjadi nyala. Disisi kanan, adalah kurva batas maksimal, artinya pada rasio ekivalen diatas batas tersebut campuran reaktan terlalu kaya, sehingga tidak akan terjadi nyala. Nyala heksana berhasil distabilkan di dalam meso-scale combustor tipe A, pada rentang rasio ekuivalen ϕ0,73-1,28 dengan kecepatan reaktan U antara 23-33,2 cm/s. Nyala juga dapat distabilkan pada combustor B pada rasio ekuivalen ϕ0,76-0,98 dengan kecepatan reaktan antara 27- 32,03 *cm/s*, jauh lebih sempit dariA.

Pada gambar 4 dititunjukkan bahwa, warna nyala mulai dari biru gelap ke biru terang. Semakintinggi kecepatan reaktan, warna menjadi semakin biru terang. Juga tampak bahwa reaktan semakin kaya , maka warna nyala menjadi semakin terang. Hal ini disebabkan semakin tinggi kecepatan aliran reaktan, campuran udara-bahan bakar juga semakin banyak, semakin banyak pula panas reaktan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Oleh sebab itu warna nyala pada kecepatan yang tinggi lebih terang dan melebar dari pada kecepatan aliran reaktan yang rendah.

Apabila dilihat kembali, nyala pada kedua combustor mengalami perbedaan. Nyala pada combustor A cenderung lebih berwarna terang daripada combustor B berwarna biru gelap merata.. Selain banyaknya panas reaktan yang terserap pada dinding resirkulator ,panas dari pembakaran juga sulit memanaskan kembali reaktan baru yang belum terbakar. Akibat besarnya ruang sirkulasi reaktan, sehingga temperatur panas reaktan menurun saat mengalir pada bagian hilir (tempat reaktan tereaksi). Oleh karena itu nyala pada combustor B cenderung berwarna biru gelap merata. Sedangkan pada combustor A dengan luas ruang sirkulasi yang lebih sempit campuran reaktan lebih cepat tereaksi (terbakar). Panas pembakaran juga lebih cepat untuk memanaskan kembali reaktan baru sehingga temperatur tetap terjaga pada titik nyala. Cepatnya aliran panas reaktan berakibat pada visualisasi nyalanya. Oleh sebab itu, warna nyala pada combustor A cenderung berwarna biru cerah tetapi tidak merata jika dibandingkan dengan combustor B .

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

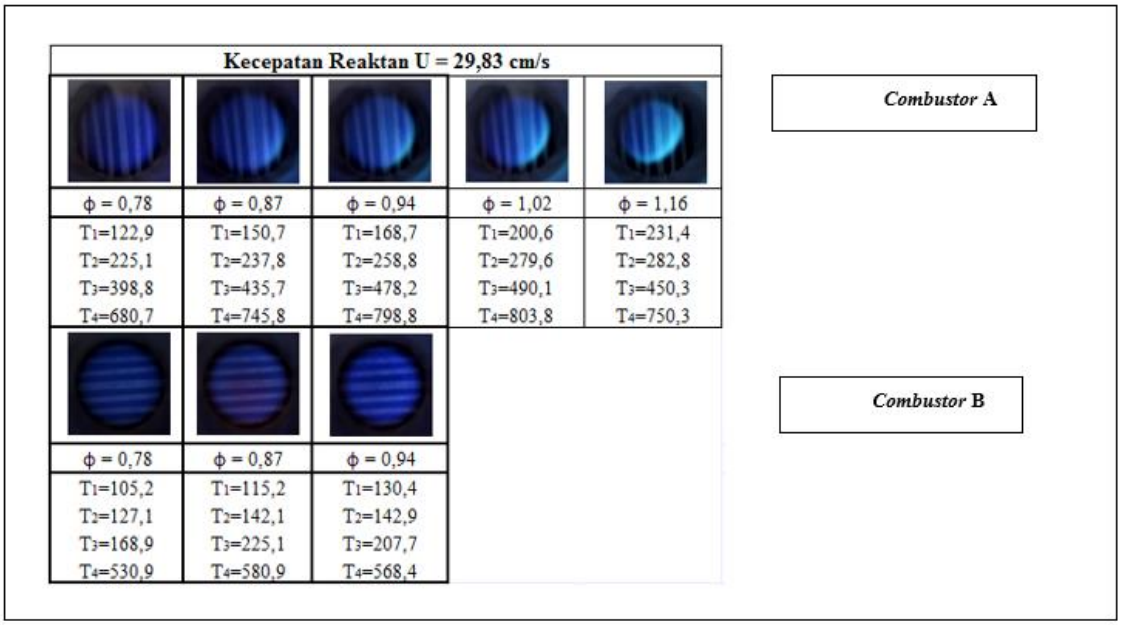


Rasio Ekuivalen ϕ = 0,87			
U = 25,14 cm/s	U = 26,4 cm/s	U = 28,9 cm/s	U = 31,5 cm/s
T_1=108,7 T_2=178,8 T_3=321,9 T_4=561,9	T_1=119,4 T_2=199,1 T_3=356,5 T_4=589,4	T_1=135,8 T_2=251,4 T_3=400,2 T_4=697,4	T_1=178,3 T_2=251,4 T_3=465,6 T_4=781,4
	U = 26,4 cm/s	U = 28,9 cm/s	U = 31,5 cm/s
	T_1=93,5 T_2=120,6 T_3=170,8 T_4=450,2	T_1=111,4 T_2=137,8 T_3=190,5 T_4=489,1	T_1=122,4 T_2=150,3 T_3=215,5 T_4=541,7

Combustor **A**

Combustor **B**

Gambar 4. Visualisasi nyala combustor A dan B, pada ϕ=0,87



Kecepatan Reaktan U = 29,83 cm/s				
ϕ = 0,78	ϕ = 0,87	ϕ = 0,94	ϕ = 1,02	ϕ = 1,16
T_1=122,9 T_2=225,1 T_3=398,8 T_4=680,7	T_1=150,7 T_2=237,8 T_3=435,7 T_4=745,8	T_1=168,7 T_2=258,8 T_3=478,2 T_4=798,8	T_1=200,6 T_2=279,6 T_3=490,1 T_4=803,8	T_1=231,4 T_2=282,8 T_3=450,3 T_4=750,3
ϕ = 0,78	ϕ = 0,87	ϕ = 0,94		
T_1=105,2 T_2=127,1 T_3=168,9 T_4=530,9	T_1=115,2 T_2=142,1 T_3=225,1 T_4=580,9	T_1=130,4 T_2=142,9 T_3=207,7 T_4=568,4		

Combustor **A**

Combustor **B**

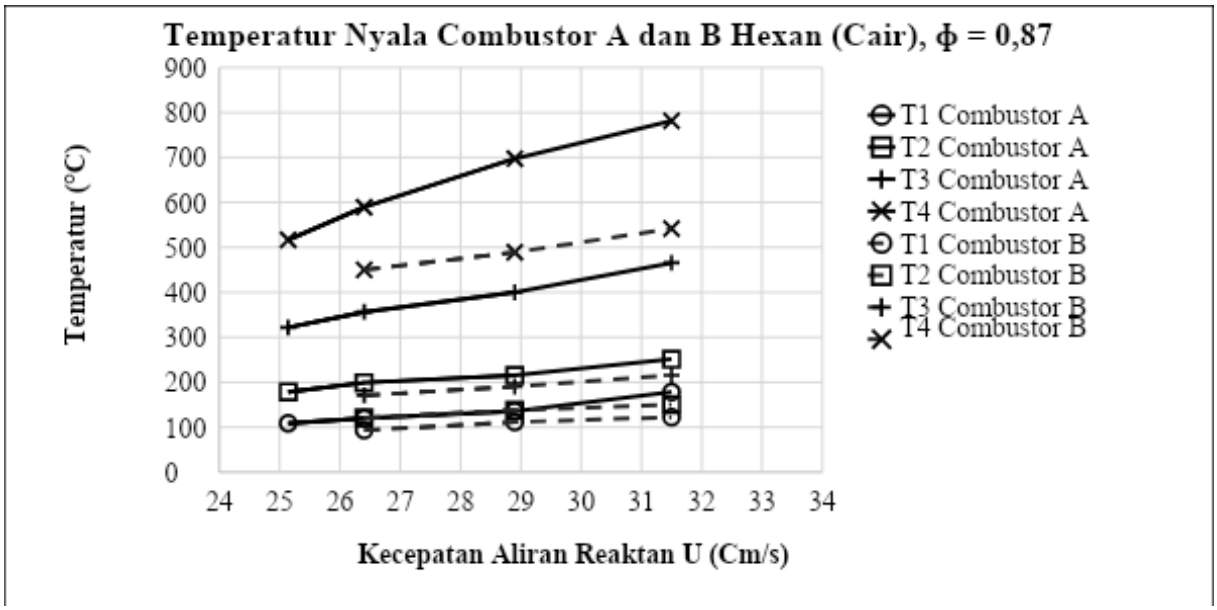
`

Gambar 5. Visualisasi nyala combustor A dan B, bahan bakar cair pada kecepatan reaktan =29,83 cm/s

Pada gambar 5. dengan semakin tingginya rasio ekuivalen, berdampak pada visualisasi nyalanya. Semakin tinggi nilai rasio ekuivalen nyala semakin biru terang dan mengecil. Hal ini diakibatkan jumlah bahan bakar yang masuk kedalam combustor semakin banyak dan tidak diimbangi dengan jumlah udara. Akibatnya bahan bakar tidak dapat tereaksi dengan udara. Panas bahan bakar yang tidak bereaksi tetap mengalir dengan udara pada bagian hilir dan mengalami pendinginan akibat dinding ruang bakar.

Sehingga, terdapat celah antara nyala api dengan dinding combustor atau disebut juga dengan *unburned gas* .

Dilihat pada ϕ = 0,78, nyala combustor A berwarna biru gelap sama halnya dengan combustor B. Perbedaan nyala semakin terlihat pada rasio ekuivalen ϕ=0,94. Nyala pada combustor A lebih terang tidak merata, sedangkan pada combustor B terlihat biru terang merata. Pada combustor B campuran udara-bahan bakar dan tercampur sempurna karena lebih lambat dalam bereaksi/terbakar pada ruang bakar. Sehingga menyebabkan warna nyala biru merata dan lebih gelap, maka nyala bersifat miskin bahan bakar. Sedangkan pada combustor A, campuran reaktan belum tercampur sempurna karena sempitnya ruang sirkulasi dan reaktan lebih cepat bereaksi/terbakar. Sehingga menyebabkan nyala menjadi biru terang tidak merata, maka nyala bisa dikatakan bersifat campuran kaya. Pada combustor A campuran kaya semakin terlihat pada rasio ekuivalen ϕ=1,16. Nyala semakin terang dan mengecil, karena jumlah bahan bakar yang masuk semakin banyak dan tidak dimbangi dengan jumlah udara.

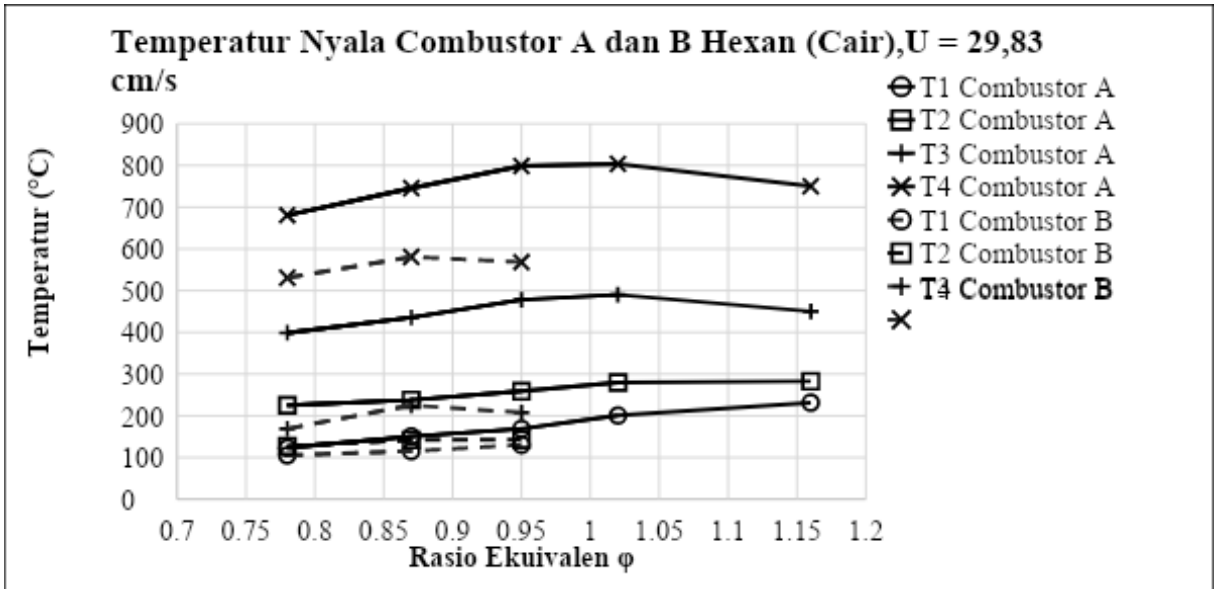


Gambar 6**.** Temperatur nyala combustor A dan B cair heksana , rasio ekuivalen konstan

Gambar 6. diatas merupakan grafik perbandingan temperatur dengan kecepatan reaktan (U) yang bervariasi. Terjadi kenaikan temperatur disetiap penambahan laju aliran kecepatan (U) pada rasio ekuivalen ϕ=0,87. Hal itu disebabkan dengan kecepatan yang lebih tinggi, debit udara – bahan bakar semakin banyak. Banyaknya campuran udara-bahan bakar menyebabkan panas reaktan yang tereaksi lebih besar sehingga temperatur pada kecepatan U=31,5 *cm/s* meningkat.

Dilihat dari temperatur pada titik T1 hingga T4, combustor B cenderung lebih rendah dibandingkan dengan combustor A. Hal ini diakibatkan, selain panas reaktan yang lebih banyak terserap oleh dinding resirkiulator, panas dari pembakaran juga sulit memanaskan kembali reaktan baru pada ruang sirkulasi. Hal tersebut disebabkan luasnya kapasitas panas pada ruang sirkulasi combustor. Sehingga menyebabkan nyala menjadi lebih gelap dari pada nyala pada combustor A. Pada combustor A yang memiliki ruang sirkulasi lebih sempit menyebabkan panas reaktan lebih cepat tereaksi, panas dari pembakaran lebih mudah memanaskan kembali reaktan baru. Sehingga dapat dilihat pada titik T1 temperatur lebih tinggi dibanding dengan T1 combustor B.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050



Gambar 7**.** Temperatur nyala combustor A dan B cair heksana , kecepatan konstan

Gambar 7. menunjukan perbandingan temperatur dengan rasio ekuivalen bervariasi, pada kecepatan konstan 29,83 *cm/s*. Temperatur meningkat kemudian menurun sering dengan bertambahnya rasio ekuivalen (ϕ). Hal ini disebabkan semakin tingginya nilai rasio ekuivalen bahan bakar yang terkandung didalam reaktan semakin melimpah dan tidak diimbangi naiknya jumlah udara. Akibatnya banyak panas reaktan/ gas yang tidak terbakar dan ditambah pendinginan dari dinding combustor menyebabkan temperatur menurun. Sehingga nyala terlihat mengecil terdapat celah kosong antara nyala dengan dinding combustor (*unberned gas*). Meningkatnya *unberned gas* juga mempengarui pada pendinginan sehingga temperatur nyala titik T4 menurun.

Pada combustor B nyala cenderung berwarna biru gelap dari pada combustor A. Hal ini disebabkan lebih banyak panas yang terserap pada dinding combustor akibat ruang sirkulasi yang lebih luas. Panas pembakaran juga sulit memanaskan kembali campuran reaktan agar tetap berada di titik nyala sehingga temperatur cenderung lebih rendah. Dapat dilihat pada titik T1 temperatur combustor B lebih rendah daripada combustor A. Pada combustor A lebih cepat terjadinya reaksi karena luas ruang sirkulasi combustor lebih sempit. Ditambah dengan mudahnya panas pembakaran untuk memanaskan kembali reaktan yang belum terbakar karena kapasitas uap reaktan yang tidak terlalu besar. Sehingga panas reaktan didalam resirkulator tetap terjaga pada titik nyala, tetapi jika ditambahkan debit bahan bakar lebih banyak temperatur akan menurun. Hal ini disebabkan tidak diimbanginya debit udara yang terkandung didalam reaktan sehingga bahan bakar tidak dapat tereaksi. Uap bahan bakar yang tidak tereaksi tetap mengalir pada bagian hilir ditambah dengan pendinginan akibat dinding combustor. Sehingga menyebabkan temperatur nyala menurun. Hal tersebut dapat dilihat pada rasio ekuivalen ϕ=1,16 temperatur menurun dimana temperatur pada titik T4 menurun sehingga nyala mengecil.

.

4. Kesimpulan

1. Pembakaran heksana (cair) pada *combustor* A, nyala berhasil distabilkan pada rasio ekuivalen ϕ 0,73-1,28 hingga kecepatan maksimum U 33,23 *cm/s*. Sedangkan pada *combustor* B antara ϕ 0,76-0,98 dengan kecepatan maksimum 32,03 *cm/s*.
2. Laju aliran reaktan mempengaruhi perluasan bentuk visualisasi. Sedangkan rasio ekuivalen mempengaruhi pada gelap terangnya visualisasi nyala apinya.
3. Combustor A yang memiliki ruang sirkulasi lebih sempit, terbukti dapat memperluas batas nyala. Temperatur nyalanya hingga mencapai 803,8ºC. Jadi, combustor A dapat direkomendasikan terkait penerapanya pada *micropower generator*.

4. Disebabkan oleh kapasitansi kalor, atau daya serap terhadap kalor, dan atau luasan permukaan konveksi, maka untuk bahan bakar heksan direkomendasikan menggunakan *meso-scale combustor* dengan panjang ruang penguapan 5mm.

Daftar Notasi

Contoh penulisan notasi dapat diuraikan dengan keterangan sebagai berikut :

ϕ : Rasio Ekuivalen
T : Temperatur (°C)
U : Kecepatan Reaktan U (cm/s

Referensi

[1] B. R. Guggilla, "A study of catalytic microcombustion for a portable power supply device," 2019.
[2] Y. H. Li and J. R. Hong, "Performance assessment of catalytic combustion-driven thermophotovoltaic platinum tubular reactor," *Appl. Energy*, vol. 211, no. October 2017, pp. 843–853, 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.11.095.
[3] T. D. Singh, "Development of a Premixed Burner Integrated Thermoelectric Power Generator for Insect Control," no. March, 2014.
[4] K. F. Mustafa, S. Abdullah, M. Z. Abdullah, and K. Sopian, "A review of combustion-driven thermoelectric (TE) and thermophotovoltaic (TPV) power systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 71, no. October, pp. 572–584, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.085.
[5] B. Shi, Q. Cao, D. Xie, W. Peng, and N. Wang, "A novel combustion system for liquid fuel evaporating and burning," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 37, no. 4, pp. 4329–4336, 2019. DOI: 10.1016/j.proci.2018.07.022.
[6] Y. Gan, Y. Tong, Z. Jiang, X. Chen, H. Li, and X. Jiang, "Electro-spraying and catalytic combustion characteristics of ethanol in meso-scale combustors with steel and platinum meshes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 164, no. February, pp. 410–416, 2018. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.03.018.
[7] F. A. Munir, M. I. Muazzam, A. Gader, M. Mikami, H. Saputro, and L. Fitriana, "Effects of wall thickness on flame stabilization limits for combustors with wire mesh," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 11–17, 2018.
[8] F. A. Munir, M. Mikami, M. Z. Hassan, and M. A. Salim, "Flame stabilization in multiple inlet channel meso-scale tube combustors with wire mesh," *J. Adv. Veh. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2017.
[9] X. Li, J. Zhang, H. Yang, L. Jiang, X. Wang, and D. Zhao, "Combustion characteristics of non-premixed methane micro-jet flame in coflow air and thermal interaction between flame and micro tube," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 112, pp. 296–303, 2017. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.082.
[10] A. F. Hery Soegiharto, I. N. G. Wardana, L. Yuliati, and M. Nursasongko, "The Role of Liquid Fuels Channel Configuration on the Combustion inside Cylindrical Mesoscale Combustor," *J. Combust.*, vol. 2017, 2017. DOI: 10.1155/2017/3679679.
[11] A. F. Hery Soegiharto, I. N. G. Wardana, L. Yuliati, and M. Nur Sasongko, "The use of heat circulator for flammability in mesoscale combustor," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 8 (98), pp. 46–56, 2019. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.155347.

`