

PEMANFAATAN PENUKAR KALOR PIPA GANDA PADA PEMBAKAR SKALA MESO TABUNG KUARSA BERDIAMETER DALAM 3,5 MM

Herry Suprianto¹, Muhammad Faris Muhtadi², Achmad Fauzan Hery Soegiharto^{*3}

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

AF Hery Soegiharto

Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: fauzanmt@umm.ac.id

Tujuan dari penelitian ini adalah: menyelidiki peran penukar kalor pipa ganda berbahan baja tahan karat terhadap stabilitas nyala pembakaran butana di dalam pembakar skala meso berdiameter dalam 3,5 mm. Batas kestabilan nyala pada pembakar skala meso dengan penukar kalor lebih sempit dibandingkan pembakar skala meso tanpa penukar kalor. Nyala berwarna biru terang dan bentuknya semakin membesar seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran reaktan. Terjadi celah tanpa nyala yang semakin tipis pada kecepatan reaktan tinggi. Celah tanpa nyala ini disebabkan pendinginan oleh dinding. Celah tanpa nyala justru semakin menebal dengan makin tingginya rasio ekuivalen. Celah tanpa nyala ini berbatasan dengan warna terang yang kaya bahan bakar. Celah tanpa nyala jenis ini disebabkan terlalu kayanya campuran di sisi ini.

Kata kunci: Meso Pembakar Skala Meso Glass Tube

1. Pendahuluan

Penukar kalor pipa ganda adalah alat yang dipergunakan untuk memindahkan kalor dari satu fluida atau satu material ke fluida lain, sehingga suhu di satu sisi akan turun, sedang satu sisi lain akan naik. Pembakar skala meso (Meso scale pembakar skala meso) adalah piranti untuk membuat nyala di dalam ruangan yang sangat kecil, dalam hal ini berdiameter dalam 3,5 mm, dari bahan bakar hydrocarbon baik gas ataupun cair. Pembakar skala meso sendiri merupakan bagian dari generator listrik skala mikro (micro/meso elektrik power generator) (Faris, 2018; Khaliq 2018), yaitu suatu alat portabel yang digunakan untuk menghasilkan listrik, untuk mencatu daya khususnya piranti elektronik. Generator listrik skala mikro, dewasa ini menjadi perhatian para peneliti, karena diharapkan atau dipersiapkan sebagai sumber energi pengganti baterai konvensional, (Fernandez, 2011).

Pembangkit daya skala micro disyaratkan memiliki ukuran kecil, menghasilkan daya tinggi dan waktu operasi panjang. Salah satu yang potensial adalah pembangkit daya skala mikro yang menggunakan bahan bakar hydrokarbon. Hydrocarbon dipilih karena memiliki kepadatan energi yang tinggi. Sebagai perbandingan Hydrocarbon memiliki kandungan energi hingga 45 MJ/Kg sementara baterai terbaik hanya memiliki kandungan energi 0.50 MJ/ kg. Pembangkit daya skala micro berbasis hydrocarbon merupakan pemasok daya yang saat ini sedang dikembangkan oleh para peneliti untuk menggantikan baterai konvensional.

Pembangkit daya skala micro pada dasarnya tersusun atas dua bagian utama yaitu a) pembakar skala mikro dan b) modul konversi energi dari termal ke listrik. Pembakar skala mikro dengan pembakaran yang stabil merupakan bagian yang sangat penting dalam generator listrik skala mikro, dan berfungsi untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas, untuk selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik (Chou et al., 2011a, Maruta, 2011b).

Membuat nyala atau menyetabilkan nyala di dalam pembakar skala mikro yang berdiameter dalam 3,5 mm (meso scale pembakar skala meso) merupakan hal sulit, lebih di dalam ruangan berdiameter kurang dari itu. Kesulitan tersebut disebabkan dua hal yaitu : 1) waktu tinggal reaktan yang singkat di dalam ruang bakar dan 2) tingginya heat loss (Holman, 1986). Dua hal tersebut menyebabkan pemadaman nyala. Kestabilan nyala dan pembakaran dapat dicapai dengan meningkatkan waktu tinggal reaktan di dalam ruang bakar dan meningkatkan kecepatan reaksi pembakaran serta meminimalkan kehilangan kalor. Salah satu contoh meningkatkan waktu tinggal reaktan dalam ruang bakar adalah dengan menggunakan pembakar type *backward facing step* (pembakar dengan pembesaran diameter) (Yang, et al, 2002). Sedangkan untuk meningkatkan

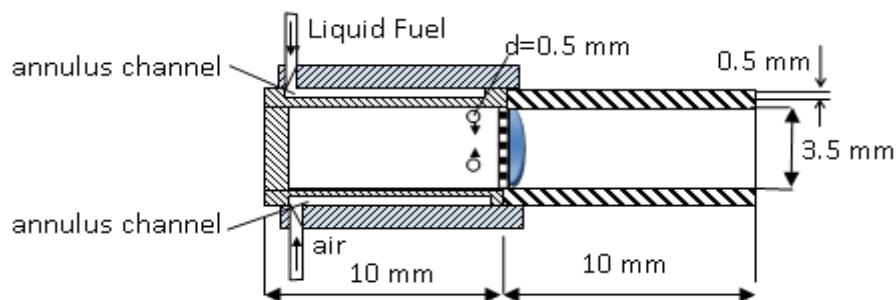
kecepatan pembakaran digunakan katalis dan pemanasan eksternal (Maruta, 2011). Upaya lain yang dilakukan untuk meningkatkan kestabilan nyala adalah mengelola pemakaian material pembakar skala meso berdasar konduktivitasnya, mengelola sirkulasi panas. Model *swiss roll pembakar skala meso* dan penggunaan wire jejaring kawat tahan karat sebagai pemegang nyala di dalam pembakar skala meso adalah sebagai contohnya. (Norton, et al, 2003; Kim, et al, 2007; Mikami, et al, 2013).

Suatu upaya penyetabilan nyala bahan bakar cair telah dilakukan pada pembakar skala meso menggunakan ruas penguapan tembaga, dimana terdapat saluran bahan bakar di dalam dindingnya (AFH Sugiharto et al, 2017). Ruas penguapan sebagaimana diterapkan oleh (AF Hery Soegiharto, et al, 2017), untuk pembakaran bahan bakar cair, pada prinsipnya adalah resirkulator kalor, atau penukar kalor yang dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas nyala, atau memperluas kurva batas kestabilan nyala pada pembakaran bahan bakar gas butana.

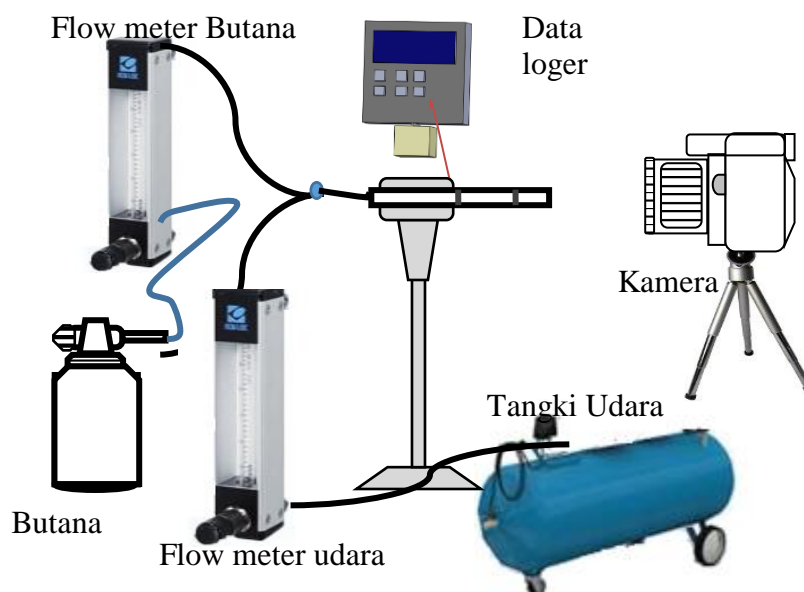
Tujuan dari penelitian ini adalah: menyelidiki peran penukar kalor pipa ganda berbahan baja tahan karat terhadap stabilitas nyala pembakaran butana di dalam pembakar skala meso berdiameter dalam 3,5 mm. Mengetahui mekanisme perpindahan kalor di dalam dengan memahami kurva stabilitas nyala, temperatur, dan visualisasi nyala.

2. Metode Penelitian

Pembakar skala meso yang dipergunakan dalam penelitian ini sebagaimana ditunjukkan Gambar 1. Instalasi pengujian sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 1 Pembakar skala meso



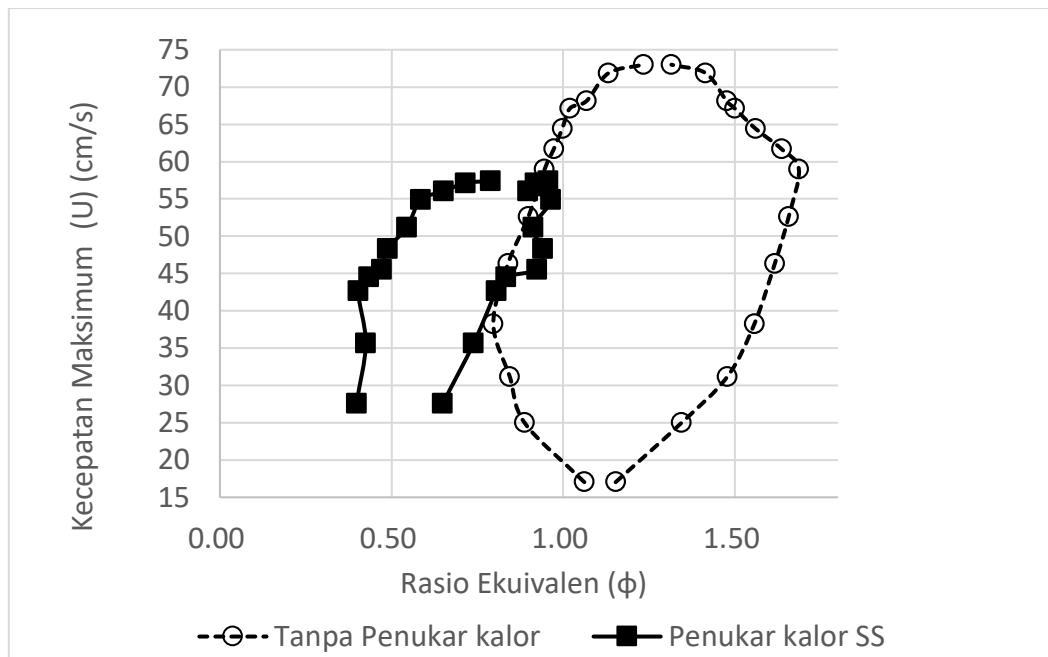
Gambar 2 Instalasi penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan bakar Butane (C_4H_{10}), dan oksidatornya adalah udara atmosfer. Flow meter bahan bakar kapasitas 2-20 ml/min merk Koflock buatan Jepang. Udara

dikontrol dengan flow meter serupa dengan kapasitas 50 - 500 ml/menit.. Bahan bakar diinjeksikan pada saluran inlet bahan bakar, kemudian dipanaskan kanal sempit atau kanal annulus di ruas tembaga dan masuk ke ruang bakar melalui lubang inlet bahan bakar. Udara dipasok dari tangki udara. Campuran bahan bakar-udara dinyalakan melalui ujung akhir meso pembakar skala meso menggunakan korek menyala. Bahan bakar dan aliran udara divariasikan dari minimum ke nilai maksimum, di mana nyala dapat distabilkan dalam ruang bakar tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan grafik batas kestabilan nyala pada pembakar skala meso dengan penukar kalor. Sebagai perbandingan, adalah kurva kestabilan nyala pada pembakar skala meso tanpa penukar kalor.



Gambar 3. Grafik kestabilan nyala pembakar skala meso dengan penukar kalor dan tanpa penukar kalor

Grafik kestabilan nyala pada pembakar skala meso berpenukar kalor batasan yang lebih sempit dibandingkan dengan tanpa penukar kalor. Kemungkinan penyebabnya adalah penukar kalor yang terbuat dari baja tahan karat, menyerap kalor berlebihan untuk memanaskan dirinya. hal ini menyebabkan pendinginan nyala sehingga mempersempit stabilitas nyalanya.

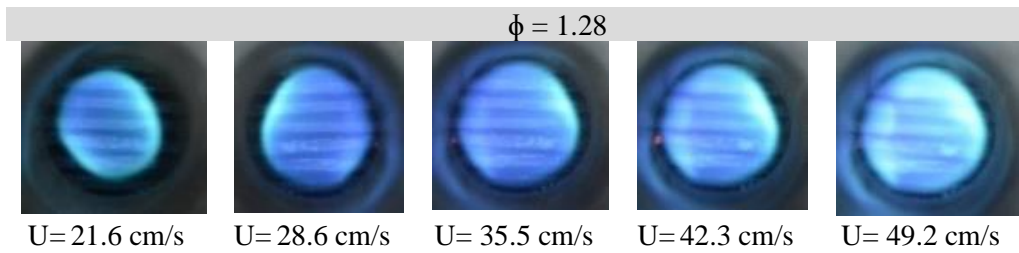
Nyalanya pembakar skala meso berpenukar kalor terjadi pada daerah yang lebih miskin dibandingkan pembakar skala meso tanpa penukar kalor. Hal ini berarti pembakar skala meso dengan penukar kalor, mengonsumsi bahan bakar lebih hemat.

Grafik kestabilan nyalanya pada pembakar skala meso berpenukar pada Gambar 3 mempunyai batas kecepatan aliran reaktan tertinggi pada 57.36 cm/s dengan rasio ekuivalen 1.5961 \approx 1.60. Jika kecepatan aliran reaktan diatur di atas nilai tersebut dengan rasio ekuivalen dijaga tetap maka nyala akan s pembakaran, hingga terlepas dari pemegang nyala. Peristiwa ini disebut dengan blow-off. Sedangkan batas kecepatan aliran reaktan terendah terletak pada 17.15 cm/s dengan rasio ekuivalen 1.31. Jika kecepatan aliran reaktan diatur di bawah nilai tersebut dengan rasio ekuivalen dijaga tetap maka nyala akan berjalan ke hulu sehingga terjadi fenomena *flashback*. Pada kejadian ini nyala akan padam.

Gambar 1 menunjukkan bahwa nyala di dalam pembakar skala meso terjadi mulai dari $\phi = 0.8$ hingga $\phi = 2$. Dimana $\phi = 1$ adalah keadaan stoikiometri.

Visualisasi nyala dalam pembakar skala meso dengan penukar kalor berbentuk bulat dan lebar. Fenomena ini disebabkan oleh dinamika aliran reaktan yang terjadi di dalam pembakar skala meso dan

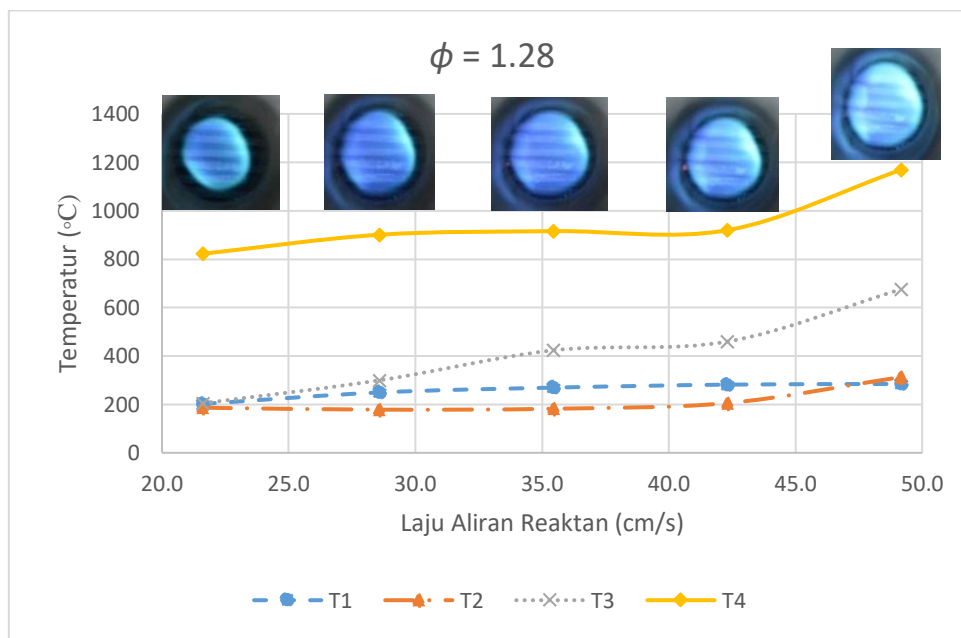
mempengaruhi bentuk nyala pada masing-masing pembakar skala meso yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar tersebut diambil pada nilai $\phi = 1.28$ dengan kecepatan yang bervariasi.



Gambar 4 Visualisasi nyala pada pembakar skala meso dengan penukar kalor

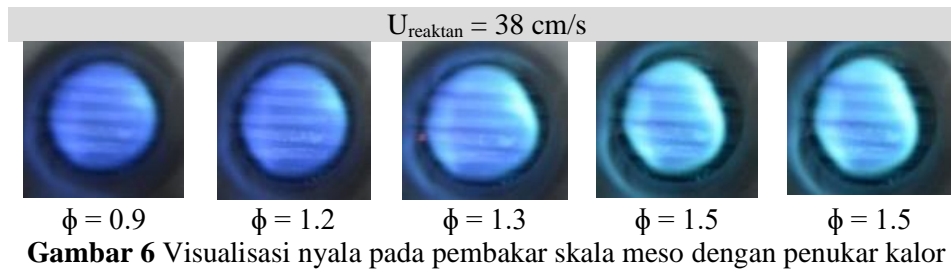
Gambar 4 menunjukkan semakin meningkatnya kecepatan aliran reaktan pada masing-masing pembakar skala meso, visualisasi nyala cenderung berwarna biru terang dan bentuknya semakin melebar. Hal ini disebabkan karena meningkatnya kecepatan aliran reaktan berbanding lurus dengan naiknya debit bahan bakar dan udara yang mengalir dalam pembakar skala meso. Jumlah reaktan tersebut membuat nyala pada nyala semakin biru terang dan hal itu menunjukkan bahwa proses pembakaran terjadi pada kondisi campuran kaya bahan bakar. Sehingga nyala pembakaran pada kecepatan aliran reaktan tinggi terlihat lebih besar dan berwarna biru terang daripada nyala pada kecepatan aliran reaktan rendah yang berukuran kecil dan berwarna biru gelap.

Terdapat celah tanpa nyala antara nyala dan dinding. Celah tanpa nyala ini terlihat tebal pada kecepatan rendah, dan tipis pada kecepatan tinggi. Pada kejadian ini, telah tanpa nyala diduga disebabkan oleh pendinginan oleh dinding. Pada kecepatan aliran rendah, jumlah bahan bakar terbakar sedikit, sehingga kalor dihasilkan pembakaran juga sedikit. Semakin tinggi kecepatan, maka jumlah reaktan terbakar makin banyak sehingga dihasilkan kalor lebih banyak. Pada keadaan ini maka pendinginan oleh dinding terantisipasi oleh jumlah kalor yang dihasilkan tersebut, sehingga kalor lebih banyak terjadi. Semakin banyaknya energi dihasilkan dari pembakaran ditunjukkan oleh semakin tingginya temperatur dengan semakin tingginya kecepatan reaktan.

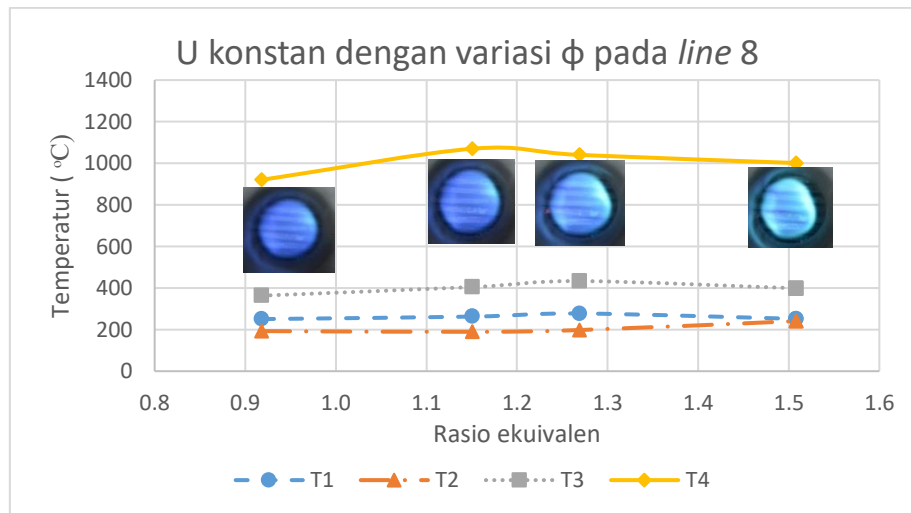


Gambar 5 Grafik perbandingan temperatur dengan U bervariasi pada ϕ konstan

Gambar 6 adalah visualisasi nyala adalah $U=38$ cm/s. Semakin bertambahnya rasio ekuivalen rasio warna nyala semakin terang. Artinya semakin kaya reaktan maka nyala makin terang. Semakin tebalnya celah tanpa nyala dalam hal ini diduga disebabkan terlalu kayanya campuran, pada sisi tersebut melampaui batas kestabilan nyala.



Gambar 7 adalah grafik perbandingan temperatur dengan ϕ pada U konstan.



Pada Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan temperatur pada berbagai rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan $U = 38 \text{ cm/s}$. Temperatur pembakar skala meso pada rasio ekuivalen kurang dari 1 cenderung rendah, hal ini disebabkan karena jumlah reaktan yang bereaksi dengan pembakaran masih sedikit. Seiring dengan bertambahnya nilai rasio ekuivalen, jumlah reaktan yang terbakar juga meningkat dan menyebabkan temperatur pada pembakar skala meso tambah terjadi penurunan temperatur yang diiringi juga dengan semakin tebalnya celah tanpa nyala. Hal ini dapat dimaknai bahwa secara keseluruhan energi dihasilkan berkurang pada rasio ekuivalen tinggi. Disebabkan sebagian bahan bakar tidak terbakar, kemudian terbuang bersama gas pembakaran. Reaktan tidak terbakar ini berada pada celah tanpa nyala.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah grafik *batas kestabilan nyala* pada pembakar skala meso dengan penukar kalor lebih sempit dibandingkan pembakar skala meso dengan tanpa penukar kalor. Kecepatan reaktan di dalam pembakar skala meso dengan penukar kalor yang terendah adalah 17.15 cm/s sedangkan yang tertinggi adalah 57.36 cm/s . Pada pembakar skala meso dengan tanpa penukar kalor kecepatan terendah adalah 17.88 cm/s dan yang tertinggi adalah 53.98 cm/s . Visualisasi nyala pada kedua pembakar skala meso menjadi berwarna biru terang dan bentuknya semakin melebar seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran reaktan. Sedangkan visualisasi nyala kedua pembakar skala meso pada rasio ekuivalen bervariasi memiliki bentuk yang berbeda, pada pembakar skala meso dengan penukar kalor warna nyala menjadi biru muda dan bentuknya semakin mengecil dan tebal. Pada pembakar skala meso dengan tanpa penukar kalor warna nyala menjadi biru gelap dan bentuknya semakin melebar namun tidak merata.

Terjadi celah tanpa nyala yang semakin tipis pada kecepatan reaktan tinggi. Celah tanpa nyala ini disebabkan pendinginan oleh dinding. Celah tanpa nyala justru semakin menebal dengan makin tingginya rasio ekuivalen. Celah tanpa nyala ini berbatasan dengan warna terang yang kaya bahan bakar. Celah tanpa nyala jenis ini disebabkan terlalu kayanya campuran di sisi ini.

Referensi

- [1] A. C. Fernandez-Pello, "Micropower Generator using Combustion," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 883–889, p. 29, 2002.
- [2] W. M. Yang, S. K. Chou, C. Shu, Z. W. Li, and H. Xue, "Combustion in micro-cylindrical pembakar skala mesos with and without a backward facing step," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 22, no. 16, pp. 1777–1787, 2002.
- [3] Y. Ju and K. Maruta, "Microscale combustion: Technology development and fundamental research," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 37, no. 6, pp. 669–715, 2011.
- [4] Faris, "Pengaruh Tipe Pemegang nyala Terhadap Nyala Butana Di Dalam Pembakar skala meso," 2018.
- [5] Khaliq, "Pembakaran Hexana Pada Pembakar skala meso Menggunakan Resikulator Kalor Dengan Sisipan Ruas Pemisah," 2018.
- [6] J.P. Holman, *Heat Transfer*, 6th ed. Singapore: Mc-Graw-Hill Book co, 1986.