



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 4 Tahun 2025 Page 8678-8689

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Eksperimen Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Pelat Besi

Nitha<sup>1✉</sup>, Fatra Tallulembang<sup>3</sup>, Petrus Sampelawang<sup>3</sup>, Yafet Bontong<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Indonesia

Email: [nitha@ukitoraja.ac.id](mailto:nitha@ukitoraja.ac.id)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari satu daerah ke daerah lainnya karena akibat dari perbedaan suhu antara daerah-daerah tersebut dari temperatur fluida yang lebih tinggi ke fluida lain yang memiliki temperatur lebih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dan jumlah kalor konveksi ( $q_{konv}$ ) akibat perubahan aliran fluida 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana dilakukan pengujian di dalam saluran udara segi empat yang berdimensi panjang 2200 mm, lebar 0 mm, tinggi 220 mm, dalam pengujian ini spesimen uji yang digunakan adalah plat besi SS400 dengan dimensi panjang 240 mm, lebar 190 mm dan tebal 10 mm. Parameter yang divariasikan dalam pengujian ini yaitu aliran fluida 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s. Dari hasil penelitian diperoleh koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) sebesar 15,66 W/m<sup>2</sup>.°C terjadi pada kecepatan aliran fluida 4 m/s dan jumlah kalor konveksi optimum  $q_{konv}$  sebesar 55,29 Watt.

Kata Kunci : *Bilangan Reynolds, Koefisien Konveksi, Kalor Konveksi, Pelat Besi, Perpindahan Panas*

## Abstract

Heat transfer can be defined as the transfer of energy from one region to another due to the result of the temperature difference between those regions from a higher fluid temperature to another fluid that has a lower temperature. This study aims to determine the coefficient of convection heat transfer ( $h$ ) and the amount of convection heat ( $q_{\text{konv}}$ ) due to changes in fluid flow of 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s. This study uses an experimental method where testing is carried out in a rectangular air duct with dimensions of 2200 mm in length, 0 mm in width, 220 mm in height, in this test specimen used is SS400 iron plate with dimensions of 240 mm in length, 190 mm in width and 10 mm thick. The parameters varied in this test are fluid flow of 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s. From the results of the study, the convection heat transfer coefficient ( $h$ ) was obtained of 15.66 W/m<sup>2</sup>.°C occurs at a fluid flow speed of 4 m/s and the sum of the optimal convection heat  $q_{\text{conv}}$  is 55.29 Watts.

Keywords: *Reynolds Number, Convection Coefficient, Convection Heat, Iron Plate, Heat Transfer*

## PENDAHULUAN

Mekanisme perpindahan panas pada pelat datar merupakan salah satu dari sekian banyak penampang yang sering dijumpai dan sangat luas pengaplikasiannya. Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari satu daerah ke daerah lainnya karena akibat dari perbedaan suhu antara daerah-daerah tersebut dari temperatur fluida yang lebih tinggi ke fluida lain yang memiliki temperatur lebih rendah. Perpindahan panas pada umumnya dibedakan menjadi tiga cara perpindahan panas yang berbeda konduksi, konveksi, dan radiasi. Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan dan gerakan dari fluida. Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection).

Konveksi paksa yang terjadi pada permukaan suatu benda merupakan bagian dalam perpindahan panas konveksi untuk aliran luar atau disebut dengan external flow dimana yang diamati adalah pengaruh dari aliran yang terjadi kontak dengan permukaan benda. Konveksi merupakan salah satu jenis perpindahan panas yang mana terjadi pada suatu benda yang terkonduksi dengan panas, kemudian terkena pengaruh dari suatu fluida yang bergerak. Perpindahan panas merupakan salah satu kasus yang termasuk dalam kajian energi, oleh karena itu perubahan energi yang terjadi disini adalah perubahan dari energi yang semula panas menjadi lebih dingin ataupun sebaliknya. Banyak sekali fenomena yang bisa diamati dan dijadikan untuk menambah pemahaman dan wawasan dalam bidang energi, khususnya perpindahan panas konveksi paksa eksternal. Dibutuhkannya suatu solusi untuk pemahaman fenomena dan sebagai media pembelajaran dalam perpindahan panas

konveksi paksa eksternal ini, maka dibuatlah suatu modul perpindahan panas konveksi paksa eksternal flow. Dalam tugas akhir ini objek yang peneliti gunakan adalah pada pelat datar dengan panjang 240 mm, lebar 190 mm, dan tinggi 10 mm.

Perpindahan panas adalah salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang juga mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik. Perpindahan panas dengan konveksi paksa dengan media berpori adalah sebuah hal yang menarik banyak peneliti untuk melakukan penelitian, laju perpindahan panas konveksi pada pelat rata dengan temperatur tertentu dapat ditingkatkan dengan menaikkan koefisien perpindahan panas rata-rata, menaikkan luas permukaan perpindahan panas atau kedua-duanya. Pada penelitian ini digunakan batu dan kelereng sebagai spesimen media berpori berdiameter 15 mm dengan porositas batu sebesar 43,8 %, dan kelereng 50,3 % yang di kemas di atas pelat rata dan di uji didalam saluran udara segi empat dengan kecepatan udara 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s.

Melakukan pengukuran eksperimental pada pemanas yang diatur pada tegangan 45 V. Setelah kondisi tunak tercapai, mencatat suhu pada pada pelat rata dan suhu udara sekitar. Bilangan Nusselt tertinggi terjadi pada pelat rata dengan spesimen batu sebesar 69,025 dan perpindahan panas konveksi tertinggi terjadi pada pelat rata tanpa media berpori sebesar 44,98 Watt, sedangkan perpindahan panas konveksi pada pelat rata dengan media berpori batu lebih rendah dari pada palt rata dengan media berpori kelereng. Faktor gesekan semakin mengecil dengan bertambahnya bilangan Reynold. Semakin besar bilangan Reynold maka akan semakin besar pula Bilangan Nusselt dan perpindahan panas Konveksi, serta diikuti dengan menurunnya faktor gesekan (Pratama, 2021).

Perpindahan panas dibagi menjadi tiga bagian, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konveksi adalah perpindahan panas dengan disertai oleh zat perantara pada aliran fluida. Konveksi paksa yang terjadi pada permukaan sebuah benda merupakan kasus yang terjadi pada perpindahan panas konveksi pada aliran eksternal. Konveksi paksa dinyatakan dalam nilai koefisien konveksi ( $h$ ). Koefisien konveksi dipengaruhi oleh geometri benda, kecepatan fluida, dan heat flux dari benda. Penelitian secara eksperimen menggunakan pelat datar aluminium dengan panjang 0,275 m, lebar 0,065 m, dan tinggi 0,008 m. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari perpindahan konveksi paksa eksteranal pada pelat datar. Benda uji dipanaskan menggunakan electric heater pada bagian bawah benda, dan dilakukan pendinginan oleh fluida udara dari blower sentrifugal. Dilakukan perubahan variasi pada laju alir fluida dan nilai heat flux pada benda uji.

Pengambilan data yang dilakukan menggunakan thermistor (sensor temperatur) yang diintegrasikan dengan arduino, multimeter (sensor arus dan tegangan), dan juga

anemometer (sensor kecepatan udara). Pada eksperimen, data yang diambil adalah data temperatur permukaan benda uji dan kecepatan aliran fluida udara. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh nilai koefisien konveksi tertinggi pada titik 0,005m, yaitu pada variasi kecepatan 4.8 m/s sebesar 257,4 W/m<sup>2</sup>K. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir fluida akan meningkatkan nilai dari koefisien konveksi (Rijalulakbar Dewantoro, 2018).

Wind tunnel adalah sebagai alat bantu pengujian sifat aerodinamika suatu model benda seperti pesawat terbang, kapal, bangunan dan lain sebagainya. Wind tunnel terdiri dari 3 komponen utama test section, contraction dan diffuser, sebagai penggeraknya menggunakan exhaust fan. Tujuan penelitian adalah mendesain dan merancang bangun alat uji *open circuit wind tunnel tipe subsonic* serta melakukan pengujian fungsional dan pengambilan data. Adapun kegiatan yang dilakukan antara lain melakukan perhitungan untuk komponen utama, membuat gambar kerja, pemilihan bahan untuk membuat alat uji, percobaan fungsi kerja alat dan pengambilan data untuk membandingkan hasil perhitungan terhadap hasil kerja alat. Kemudian alat ini dapat digunakan untuk praktikum mahasiswa di laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam As- syafi'iyah. Wind Tunnel ini berupa open circuit tipe subsonic ( $M < 1$ ), dimana dimensi test section 0,2 m x 0,2 m x 0,5, dengan kecepatan angin maksimumnya 4 m/s besarnya  $M = 0,0114$ , dimensi contraction penampang masuk 0,4 m x 0,4 m dan keluar 0,2 m x 0,2 m x 0,5 m, dengan kecepatan angin maksimumnya 2,4 m/s besarnya  $M = 0,00172$ , dan dimensi diffuser penampang masuk 0,2 m x 0,2 m dan keluar 0,4 m x 0,4 m x 0,8 m, dengan kecepatan maksimumnya sama dengan ke-cepatan di test section 4 m/s besarnya  $M = 0,00286$  (Paul David Rey, 2020).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan pengujian didalam saluran udara persegi empat untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi paksa dan jumlah kalor yang berpindah.



Gambar 7. Alat Pengujian

#### Prosedur Penelitian

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian.
2. Memasang spesimen kedalam saluran udara.
3. Menghidupkan pemanas elektrik (*heater*).
4. Panaskan spesimen uji selama 15 menit.
5. Mengukur temperatur permukaan pelat.
6. Menghidupkan kipas angin dan mengatur kecepatan udara dengan kecepatan 2 m/s.
7. Mencatat hasil pengukuran pada tabel rancangan penelitian untuk nantinya dilakukan perhitungan terhadap.
8. Matikan *heater* dan kipas angin setelah pengambilan data.
9. Mengulangi langkah-langkah penelitian untuk variasi aliran fluida lainnya 3 m/s, 4 m/s.
10. Matikan semua alat penelitian setelah melakukan pengambilan data.

#### Penjelasan Hasil Pengukuran Properties (Tabel 2)

Pengukuran dilakukan pada tiga variasi kecepatan aliran fluida ( $V$ ), yaitu 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s. Setiap pengukuran meliputi temperatur fluida masuk ( $T_{fin}$ ), temperatur fluida keluar ( $T_{fout}$ ), temperatur permukaan atas material ( $T_{sa}$ ), dan temperatur permukaan bawah material ( $T_{sb}$ ).

1. Kecepatan aliran 2 m/s
  - o Temperatur fluida masuk tercatat sebesar 24,7 °C, 24,6 °C, dan 24,6 °C, dengan nilai rata-rata 24,63 °C.
  - o Temperatur fluida keluar sebesar 27,0 °C, 26,9 °C, dan 26,7 °C, dengan rata-rata 26,93 °C.

- Temperatur permukaan atas material pada empat titik pengukuran masing-masing adalah 101,4 °C, 103,7 °C, 100,7 °C, dan 99,7 °C, menghasilkan rata-rata 101,37 °C.
  - Temperatur permukaan bawah material pada empat titik pengukuran adalah 102,6 °C, 104,0 °C, 102,9 °C, dan 103,7 °C, dengan rata-rata 103,3 °C.
2. Kecepatan aliran 3 m/s
- Temperatur fluida masuk konstan pada 24,2 °C untuk ketiga pengukuran, sehingga rata-ratanya juga 24,2 °C.
  - Temperatur fluida keluar tercatat sebesar 26,7 °C, 26,6 °C, dan 26,6 °C, dengan rata-rata 26,63 °C.
  - Temperatur permukaan atas material pada empat titik adalah 101,8 °C, 104,3 °C, 100,2 °C, dan 99,7 °C, dengan rata-rata 101,5 °C.
  - Temperatur permukaan bawah material masing-masing 103,2 °C, 104,6 °C, 103,1 °C, dan 104,1 °C, dengan rata-rata 103,75 °C.
3. Kecepatan aliran 4 m/s
- Temperatur fluida masuk sebesar 23,9 °C, 23,8 °C, dan 23,8 °C, dengan rata-rata 23,83 °C.
  - Temperatur fluida keluar tercatat 26,6 °C, 26,5 °C, dan 26,7 °C, dengan rata-rata 26,6 °C.
  - Temperatur permukaan atas material pada empat titik pengukuran masing-masing adalah 102,7 °C, 100,8 °C, 100,0 °C, dan 101,6 °C, menghasilkan rata-rata 101,27 °C.
  - Temperatur permukaan bawah material adalah 104,6 °C, 101,0 °C, 100,8 °C, dan 105,6 °C, dengan rata-rata 103,0 °C.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran fluida, temperatur fluida masuk dan keluar sedikit menurun, sedangkan temperatur permukaan material relatif stabil dengan variasi kecil pada tiap titik pengukuran.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, dilakukan perhitungan untuk menganalisis karakteristik perpindahan panas pada pelat besi. Data diperoleh melalui pengujian terhadap pelat datar besi berukuran panjang 240 mm (0,24 m), lebar 190 mm (0,19 m), dan tebal 10 mm (0,01 m). Pengujian menggunakan variasi kecepatan aliran fluida ( $V$ ) sebesar 2 m/s, 3 m/s, dan 4 m/s. Tujuannya adalah untuk menganalisis koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) serta jumlah kalor yang berpindah ( $q$ ) pada pelat besi.

### 1. Perhitungan Jumlah Kalor Konduksi ( $q_{kond}$ )

Rumus:

$$q_{kond} = k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta X}$$
$$q_{kond} = \frac{73W}{m} \cdot ^\circ C \times 0,0456m^2 \times \frac{1,96^\circ C}{0,01m} = 642,45 Watt$$

Keterangan:

$q_{kond}$  : jumlah kalor konduksi (Watt)

$k$  : konduktivitas termal (W/m $\cdot$ °C)

$A$  : luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta X$  : perbedaan jarak (m)

$\Delta T$  : perbedaan temperatur (°C)

### 2. Temperatur Rata-Rata (T)

Rumus:

$$T = \frac{T_f + T_s}{2}$$
$$= \frac{24,63^\circ C + 101,37^\circ C}{2} = 63^\circ C$$

Keterangan:

$T$  : temperatur rata-rata (°C)

$T_f$  : temperatur fluida (°C)

$T_s$  : temperatur permukaan material (°C)

Berdasarkan temperatur rata-rata ini, dilakukan interpolasi pada data sifat udara (Lampiran 1) dan diperoleh:

Massa jenis ( $\rho$ ): 1,048 kg/m<sup>3</sup>

Viskositas dinamis ( $\mu$ ):  $2,021 \times 10^{-5}$  kg/m $\cdot$ s

Viskositas kinematik ( $\nu$ ):  $1,926 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

Bilangan Prandtl (Pr): 0,7195

Konduktivitas termal ( $k$ ): 0,02830 W/m $\cdot$ °C

Kapasitas panas spesifik ( $C_p$ ): 1007 J/kg $\cdot$ °C

### 3. Bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$
$$Re = \frac{2 \text{ m/s} \cdot 0,24 \text{ m}}{1,926 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 24922,11$$

Keterangan :

$Re$  : bilangan reynold

$\nu$  : viskositas kinematik fluida (m/s)

$V$  : kecepatan aliran fluida (m/s)

L : panjang karakteristik ( $m^2/s$ )

#### 4. Bilangan Prandtl (Pr)

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k}$$
$$Pr = \frac{2,021 \times 10^{-5} \text{ kg/ms} \cdot 1007 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}}{0,02830 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,7193$$

Keterangan:

Pr : bilangan Prandtl

$\mu$  : viskositas dinamis fluida (kg/m)

Cp : kapasitas panas spesifik fluida (J/kg.k)

k : konduktivitas termal fluida (W/m.k)

#### 5. Bilangan Nusselt (Nu)

$$Nu = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 0,664 \times 24922,11^{\frac{1}{2}} \times 0,7193^{\frac{1}{3}} = 93,92$$

Keterangan :

Nu : bilangan Nusselt

Re : bilangan Reynolds

Pr : bilangan Prandtl

#### 6. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h)

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$
$$h = \frac{93,92 \times 0,02830 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{0,24 \text{ m}} = 11,07 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Keterangan:

h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m.K)

k : konduktivitas termal (W/m. $^\circ\text{C}$ )

L : panjang karakteristik (m)

#### 7. Jumlah Kalor Konveksi ( $q_{konv}$ )

$$q_{konv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= 11,07 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 0,0456 \text{ m}^2 \cdot 76,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$
$$= 38,01 \text{ Watt}$$

Keterangan:

$q_{konv}$  : jumlah kalor konveksi (Watt)

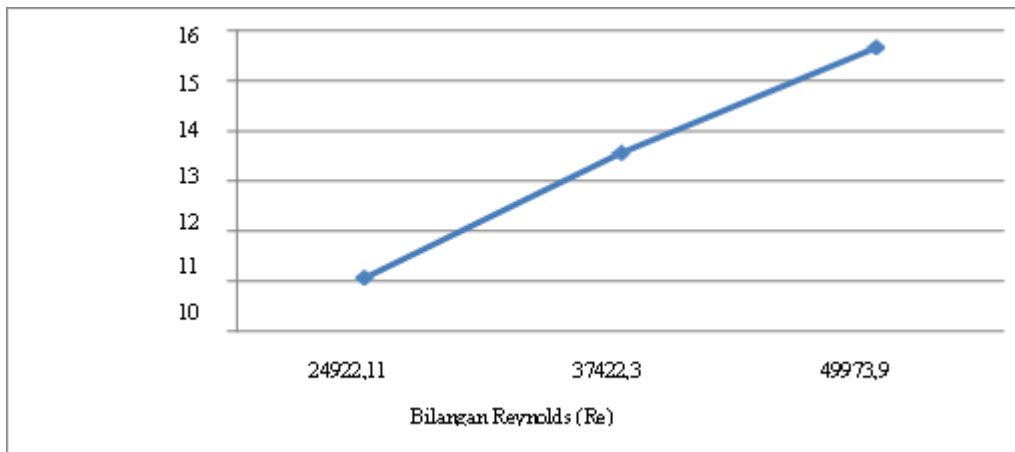
h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m $^2$ . $^\circ\text{C}$ ) A : luas permukaan (m $^2$ )

$\Delta T$  : perbedaan temperatur ( $^\circ\text{C}$ )

Tabel 2. Hasil Perhitungan (Lebar pelat = 190 mm, Panjang = 240 mm, Daya heater = 200 W):

No	V (m/s)	$q_{kon}$ d (W)	Re	Pr	Nu	h (W/m <sup>2</sup> .°C)	$q_{kon}$ v (W)
1	2	642,45	24922,11	0,7193	93,92	11,07	38,01
2	3	748,98	37422,30	0,7193	115,08	13,56	47,79
3	4	575,88	49973,90	0,7191	132,98	15,66	55,29

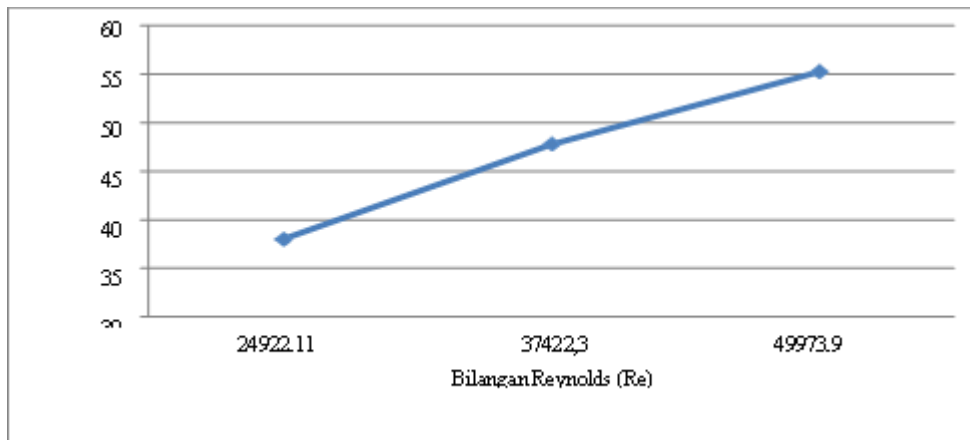
1. Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h) pada Pelat Besi



Gambar 8. Grafik Pengaruh Bilangan Reynolds (Re) Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (H) dengan Aliran Fluida

Berdasarkan gambar 8 grafik pengaruh dari bilangan Reynolds (Re) terhadap koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan aliran fluida, pada aliran fluida 2 m/s angka bilangan Reynolds (Re) yaitu 24922,11 dan koefisien perpindahan panas konveksi (h) yang terjadi yaitu 11,07 W/m<sup>2</sup>.°C, pada aliran fluida 3 m/s angka bilangan Reynolds (Re) yaitu 37422,3 dan koefisien perpindahan panas konveksi (h) terjadi yaitu 13,56 W/m<sup>2</sup>.°C, kemudian pada aliran fluida 4 m/s angka bilangan Reynolds (Re) yaitu 49973,9 dan koefisien perpindahan panas konveksi terjadi yaitu 15,66 W/m<sup>2</sup>.°C. Pada grafik gambar 8 diperoleh bahwa semakin besar bilangan Reynolds (Re) nilai dari koefisien perpindahan panas konveksi (h) semakin tinggi

## 2. Pengaruh Aliran Fluida Terhadap Jumlah Kalor Yang Berpindah (q) Pada Pelat Besi



Gambar 9. Pengaruh bilangan Reynolds (Re) terhadap jumlah kalor konveksi ( $q_{konv}$ )

Pada gambar 9 grafik pengaruh bilangan Reynolds (Re) terhadap kalor konveksi ( $q_{konv}$ ), pada bilangan Reynolds (Re) 24922,11, jumlah kalor konveksi ( $q_{konv}$ ) yang terjadi sebesar 38,01 Watt, pada bilangan Reynolds (Re) 37422,3 jumlah kalor konveksi ( $q_{konv}$ ) yang terjadi yaitu 47,79 Watt, kemudian pada bilangan Reynolds (Re) 49973,9 jumlah konveksi ( $q_{konv}$ ) yang terjadi sebesar 55,29 Watt. Pada gambar 9 diperoleh bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds (Re) maka jumlah kalor konveksi (h) akan semakin tinggi.

### SIMPULAN

Dari hasil penelitian studi eksperimen pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap karakteristik perpindahan panas pada pelat besi dengan variasi kecepatan  $V = 2$  m/s, 3 m/s dan 4 m/s, dapat diperoleh bahwa koefisien perpindahan panas konveksi (h) optimum yang dihasilkan sebesar  $15,66$  W/m<sup>2</sup>.°C terjadi pada bilangan Reynolds (Re) 49973,9 pada kecepatan (V) 4 m/s. Jumlah kalor konveksi optimum ( $q_{konv}$ ) yang dihasilkan sebesar 55,29 Watt terjadi pada bilangan Reynolds (Re) yaitu 49973,9 pada kecepatan (V) 4 m/s .

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., & Setiawan, R. (2018). Termodinamika dan perpindahan panas. Jakarta: Erlangga.
- Arismunandar, W., & Saito, S. (2010). Panas dan perpindahannya. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Haryanto, A. (2015). Perpindahan panas. Yogyakarta: Innosain.
- Holman, J. P. (2010). Heat transfer (10th ed.). McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.
- Imam Maulana Idris. (2019). Rancang bangun terowongan angin (wind tunnel) tipe subsonic dengan test section 0,2 x 0,2 m untuk alat peraga mekanika fluida. *Mechanical Engineering Journal*, 2(2). ISSN 2579-5422 (online).
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of heat and mass transfer (7th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Intan Nurul Rokhimi. (2015). Alat peraga pembelajaran laju hantaran kalor konduksi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF) Ke-6*.
- Jody Kurniawa. (2021). Analisa perpindahan panas pada saluran segi empat dengan belokan 180° dengan rusuk V. Sumatra Utara: Universitas Muhammadiyah.
- Kreith, F., & Manglik, R. M. (2016). Principles of heat transfer (8th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Marsidin, & Aqli, R. S. (2016). Bahan ajar perpindahan panas 1 HMKK 453. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Nengah Mukti. (2019). Kipas angin. Tangerang Selatan: Universitas Pamulang.
- Paul David Rey. (2020). Desain dan rancang bangun alat uji "open circuit wind tunnel tipe subsonic". *KOCENIN Serial Konferensi No. 1 (2020), Webinar Nasional Cendekiawan ke-6 Tahun 2020, Indonesia*.
- Pieter W. Tetelepta. (2010). Analisis pengaruh beban panas (Q) terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi natural pelat datar. *Jurnal Teknologi*, 5(2), 803–807.
- Rijalulakbar Dewantoro. (2018). Studi eksperimen perpindahan panas konveksi paksa eksternal pada plat datar. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*.
- Riza Fauzi Pratama. (2021). Analisis perpindahan panas pada plat rata dengan media berpori (porous). Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sampelawang, P., Pasae, N., Nitha, N., & Tandirerung, W. Y. (2019). Karakteristik perpindahan panas heat exchanger dalam enclosure pada posisi simetris dengan perubahan beban panas. *Mechanical Engineering Science (MES)*, 1(2), 1–4.

- Sudarto, J. P., dkk. (2010). Pengujian perpindahan panas konveksi pada heat sink plat jenis extruded dan heat sink plat dengan slot. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Suprianto Manalu. (2019). Analisa karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada alat penukar kalor jenis shell and tube tipe 1-2 pass di PT Indonesia Power UJP PLTU Pangkalan Susu. Medan: Universitas Medan Area.
- Tanno, K., dkk. (2010). Effect of turbulent-laminar flow transition on degradation of de-NO<sub>x</sub> catalyst. *Fuel*, 89(4), 855–858.
- Umurani, K., & Muharnif, M. (2019). Pengaruh diameter lubang pembangkit vorteks winglet melengkung terhadap unjuk kerja APK tipe kompak: Studi eksperimental. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*.
- Wang, dkk. (2017). A numerical research of herringbone passive mixer at low Reynolds number regime. *Micromachines*.
- Yunus, C., & Boles, M. A. (2018). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). New York: McGraw-Hill Education.