

Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Pada Saluran Segiempat Dengan Rusuk V 90 Derajat

K. Umurani^{1*}, Arya Rudi Nasution² & D.Irwansyah³

^{1,2,3)} Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Mochtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia

*Email: khairulumurani@umsu.ac.id

ABSTRACT

The augmentation of the heat transfer surface using ribs is often used in heat exchanger equipment, aiming to increase heat transfer between the main surface and its fluid. This study uses a rectangular channel with testing on the specimen the number of ribs V 2 with three lengths of 200 mm, a width of 150 mm, and plate thickness of 1 mm. Rectangular air duct consisting of a rectangular duct with dimensions of 150 mm x 75 mm and a length of 2000 mm, suction fan, plate-type electric heater, airflow straightener, U monometer, anemometer, ampere meter, voltmeter, speed controller, and thermocouple. The parameters varied were the incoming airflow velocity, namely 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, and 5 m/s. The experimental results heat transfer coefficient at tighter ribs provides better heat transfer. The pressure drop in Pa at the tight rib distance is higher than the pressure drop at the spaced rib spacing

Keywords: Heat transfer, pressure drop, rectangular channel, 90 degrees V rib

PENDAHULUAN

Saluran datar persegi merupakan saluran berpenampang segiempat dengan dinding bagian dalam besirip atau berusuk, dimana rusuk berfungsi sebagai turbulator. Saluran berpenampang ini berfungsi untuk memindahkan kalor dari dinding saluran ke fluida yang mengalir atau sebaliknya. Rusuk sebagai turbulator akan meningkatkan turbulensi aliran fluida sehingga akan meningkatkan koefisien konveksi (h) antara fluida yang mengalir dengan dinding saluran. Telah banyak dilakukan penelitian tentang saluran berpenampang segi empat ini untuk meningkatkan laju konveksinya, diantaranya dengan menguji dinding saluran tanpa halangan dan variasi dinding berusuk pada angka Reynold 7.900 hingga 24,900 dengan formasi sudut rusuk 45° terhadap arah aliran [1].

Perluasan permukaan perpindahan panas menggunakan rusuk sering digunakan dalam peralatan penukar panas yang bertujuan untuk meningkatkan perpindahan panas antara permukaan utama dan fluida di sekitarnya. Berbagai tipe rusuk alat penukar panas mulai dari bentuk yang sederhana, seperti rusuk segiempat (*rectangular*), silindris, *annular*, tirus (*tapered*) atau *pin*. Ravi, et al mempelajari banyak geometri rusuk yang berbeda, seperti rusuk berbentuk V, W, dan M dalam dua lintasan saluran persegi [2]. Lee, et al secara eksperimental mempelajari karakteristik perpindahan panas dalam saluran bergaris rasio aspek tinggi dengan berbentuk V dan miring. Mereka menemukan bahwa rusuk berbentuk V memberikan panas yang lebih tinggi. Salah satu tipe rusuk alat penukar panas yang digunakan adalah rusuk V dengan sudut 90°. Rusuk V adalah elemen berbentuk V dengan sudut 90° yang dipasang didalam saluran berpenampang segiempat terhadap dinding alat penukar panas, dengan fluida pendingin yang mengalir dalam arah aliran melintang terhadap elemen rusuk tersebut [3].

Laju perpindahan panas pada rusuk V dengan temperature dapat ditingkatkan dengan menaikkan koefisien perpindahan panas rata-rata, menaikkan luas permukaan perpindahan panas atau kedua-duannya. Kenaikan perpindahan panas dapat dicapai dengan cara konveksi paksa (*forced convection*) atau mengubah konfigurasi geometri dari alat penukar panas. Dalam peraktinya, cara-cara ini dapat dibatasi oleh penurunan tekanan maksimum yang diijinkan melalui rusuk V tersebut karena penurunan tekanan dapat melebihi energi yang didapat dari usaha peningkatan perpindahan tersebut.

Sara, et al melakukan penelitian tentang unjuk kerja termal dari *blocks* persegi pejal (*solid blocks*) dan *blocks* persegi berlubang (*perforated rectangular blocks*) yang dipasang pada sebuah permukaan datar dalam sebuah saluran segiempat, dimana perpindahan panas dibandingkan dengan plat yang sama tanpa *blocks*. Data yang digunakan dalam analisis unjuk kerja diperoleh secara eksperimental untuk berbagai kondisi aliran dan geometri [4].

Sara, et al melakukan penelitian tentang peningkatan perpindahan panas dan penurunan tekanan diatas sebuah permukaan datar yang diberi halangan halangan pejal (*solid blocks*) berpenampang persegi berlubang dalam saluran segiempat. Saluran segiempat terbuat dari kayu dengan panjang 2000 mm dan mempunyai ukuran tinggi 80 mm dan lebar 160 mm Plat dasar terbuat dari aluminium dengan tebal 2 mm, lebar 140 mm dan panjang 320 mm [5].

Sahin. B., et al melakukan penelitian tentang peningkatan perpindahan panas dan penurunan tekanan melalui permukaan datar yang dilengkapi dengan sirip-sirip pin silinder berlubang dalam sebuah saluran segiempat. Penelitian dilakukan dengan menggunakan saluran segiempat yang terbuat dari kayu berdimensi; lebar 250 mm, tinggi 100 mm, tebal 20 mm dan diameter hidrolis, Dh 142,86 mm dan panjang saluran 3140 mm. Plat dasar (*base plate*) terbuat dari aluminium (Al 1050) dengan dimensi panjang 250 mm, lebar 250 mm dan tebal 6 mm [6].

Tahat, M. et al meneliti tentang perpindahan panas kondisi tunak pada suatu sirip pin yang disusun secara *inline* maupun *staggered* yang orthogonal terhadap aliran udara rata-rata. Penelitian tersebut menggunakan saluran udara segiempat (*rectangular channel*) yang berdimensi 405 mm x 100 mm x 3.000 mm dengan variasi kecepatan aliran udara 6 m/s, 7 m/s dan 7,8 m/s. Spesimen berupa plat datar berdimensi 250 mm x 300 mm [7]. Kecepatan perpindahan panas untuk rusuk berbentuk 60 ° V lebih tinggi dari yang lain kasus rusuk [8]. Salah satu tipe sirip pada peralatan penukar kalor yang mempunyai banyak pemakaian dalam berbagai aplikasi industri adalah sirip pin Hal ini memungkinkan sudu beroperasi dalam temperatur tinggi tanpa mengalami kerusakan, sehingga meningkatkan efisiensi termal dan daya output. Rusuk digunakan pada alat penukar kalor untuk meningkatkan luasan perpindahan panas antara permukaan utama dengan fluida di sekitarnya [9]. Theeb, A. H. F., & Abdullah, M. melakukan pengujian terdiri dari pelat aluminium poles dengan panjang 500 mm, lebar 400 mm dan tebal 5 mm, Elemen kekasaran (rusuk Aluminium) telah dibuat dari yang sama plat aluminium yang digunakan untuk bagian uji. Rusuk miring memiliki penampang persegi (5 mm x 5 mm). Rusuk yang berpotongan memiliki penampang yang sama dengan rusuk miring, sejajar dengan arah aliran. Rusuk ini direkatkan secara manual pada pelat uji dengan epoksi termal hanya di ujungnya sebagai tetesan untuk mencegah resistensi terjadi di antara rusuk dan plat [10]. SriHarsha, V et al. melakukan peneltian pada penampang saluran segiempat adalah 40 x 40 mm. Total panjang saluran adalah 950 mm. Panjang awal 320 mm saluran yang 8 kali diameter saluran hidrolis halus dan bagian yang tidak dipanaskan. Bagian saluran yang mulus ini memungkinkan aliran untuk menjadi berkembang sepenuhnya secara hidrodinamis sebelum memasuki daerah rusuk yang kasar. Dinding bergaris memiliki panjang 575 mm dan terbuat dari foil baja tahan karat dengan ketebalan 0,05 mm yang berfungsi sebagai pemanas. Lembar Perspex dengan ketebalan 8 mm digunakan untuk membuat saluran [11].

Eksperimental untuk panas analisis transfer pada permukaan bergaris udara ambien dimasukkan ke terowongan angin, melewati pemanas pelat jaring ruang dan sarang lebah, kemudian melewati bagian uji dengan sambungan rusuk di dua sisi saluran dinding yang pengukuran ini dilakukan dalam aliran loop terbuka dengan mode hisap. Selama pengujian, udara segar yang diinduksi ke terowongan angin dilakukan di bawah suhu konstan sekitar 25 ° C yang dikontrol oleh suhu unit pengontrol. Penampang internal (W × H) aliran saluran berbentuk persegi 75 × 75 mm² dengan rasio aspek AR = 1.0, yang mana sesuai dengan pengaturan eksperimental [12].

Aplikasi Rusuk

Aplikasi di bidang teknik memerlukan komponen-komponen perpindahan kalor dengan unjuk kerja tinggi dengan berat, volume dan biaya yang lebih rendah. Pada umumnya aplikasi yang sering dijumpai untuk mendapatkan peningkatan laju aliran kalor adalah penggunaan permukaan yang menonjol (*extended surface*) dalam bentuk sirip [13]. Perpindahan panas dari susunan sirip

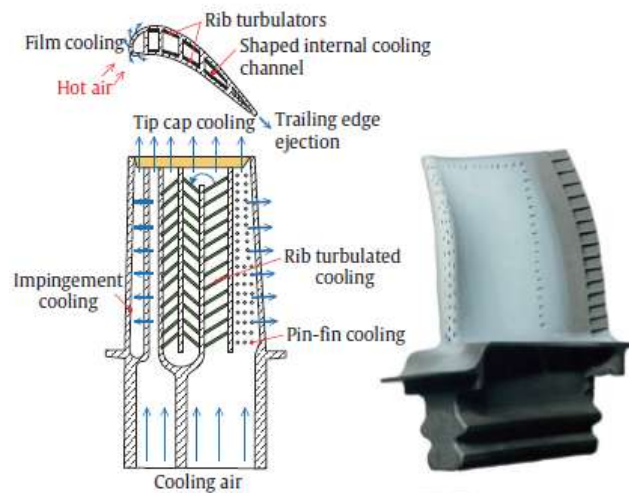
Copyright © 2021 Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. This is an open access article under the CC-BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

pin merupakan subjek yang sangat penting dengan banyak aplikasi keteknikan. Aplikasi tersebut mulai dari alat penukar panas kompak, boiler untuk turbin uap dan pendinginan internal secara konveksi dari *air foils* turbin gas. Sirip *pin* biasanya dimasukkan dalam ruang pendinginan dalam (*internal cooling*) dekat *trailing edge* dari sudu turbin untuk meningkatkan perpindahan panas.

Sirip *pin* adalah elemen berbentuk silinder atau bentuk lainnya yang dipasang secara tegak lurus terhadap dinding alat penukar panas, dengan fluida pendingin mengalir dalam arah aliran melintang (*crossflow*) terhadap elemen tersebut. Bentuk-bentuk sirip akan mempengaruhi luas penampang permukaan sirip tersebut. Maka perlu dilakukan penelitian pengaruh bentuk penampang sirip *pin* terhadap laju perpindahan panas. Rusuk atau sirip berfungsi untuk mempercepat laju perpindahan panas dengan cara memperluas permukaan benda. Ketika suatu benda mengalami perpindahan panas secara konveksi, maka laju perpindahan panas dari benda tersebut dapat dipercepat dengan cara memasang rusuk atau sirip sehingga luas permukaan benda semakin luas dan pendinginannya semakin cepat. Menurut Naphon P. & Sookkasem A. konduktivitas termal bahan rusuk atau sirip sangat mempengaruhi distribusi suhu sepanjang rusuk atau sirip dan oleh karena itu mempengaruhi efektifitas peningkatan laju perpindahan panas [14].

Sirip memperbesar perpindahan panas dari suatu permukaan dengan menciptakan luas permukaan konveksi yang lebih besar seperti pada Gambar 1. Rusuk umumnya dipasang pada saluran pendingin untuk pendinginan internal turbin gas. Banyak peneliti telah mempelajari karakteristik aliran dan perpindahan panas untuk sambungan rusuk, rusuk yang berbeda dalam rasio aspek saluran yang berbeda.

Han, et al mempelajari efek miring rusuk sudut (α) dan tinggi rusuk (p/e) pada koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan dalam saluran persegi panjang dengan sambungan rusuk di dua dinding sisi yang berlawanan [15]. Salah satu yang dipelajari sebelumnya pada distribusi perpindahan panas dan faktor gesekan untuk meneliti sudut rusuk 90° dan 45° berbentuk rusuk dengan tinggi tetap rasio $p/e = 10$ dalam saluran persegi dilakukan oleh [3],[16]. Lee, et al secara eksperimental mempelajari karakteristik perpindahan panas dalam saluran bergaris rasio aspek tinggi dengan berbentuk V dan miring rusuk. Mereka menemukan bahwa rusuk berbentuk V memberikan panas yang lebih tinggi peningkatan transfer dari rusuk miring



Gambar 1. Rusuk turbin [15]

Perubahan pola akibat belokan arah aliran hubungan antara bilangan Reynold dan diameter winglet menyebabkan kenaikan kecepatan pada aliran hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan bilangan koefisien perpindahan panas diikuti dengan kenaikan penurunan tekanan. [17]

Lu dan Jiang mempelajari kinerja termal udara pendingin di saluran persegi panjang yang dibuat kasar oleh rusuk miring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas rata-rata meningkat dengan meningkatnya laju aliran massa dan mengurangi jarak [18]. Lau, et al

Copyright©2021 Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. This is an open access article under the CC-BY-SA licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

secara eksperimental mempelajari koefisien perpindahan panas dalam saluran persegi dengan bentuk rusuk V pada rasio tinggi 10 menggunakan termokopel teknik untuk mengukur suhu dinding. Maurer et al. (2007) menyelidiki karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan rusuk berbentuk V dan W untuk rasio tinggi rusuk yang berbeda. Mereka menemukan bahwa termal kinerja rusuk berbentuk V lebih baik dari rusuk berbentuk M. dengan rasio tinggi 10 [19].

SriHarsha et al. melakukan penelitian secara eksperimental menyelidiki pengaruh tinggi rusuk pada karakteristik perpindahan panas lokal dalam saluran persegi dengan sudut 90° rusuk dan rusuk berbentuk 60° V dengan menggunakan teknik termografi infra merah. Mereka mengamati bahwa peningkatan perpindahan panas rusuk berbentuk V 60° lebih tinggi dari rusuk V 90° [11]. Selain itu, Ravi et al. menyelidiki pengaruh sudut miring di dalam saluran aliran dengan sudut miring iga 45° , iga berbentuk W, iga berbentuk M dan Rusukberbentuk V, masing-masing pada aliran dan perpindahan panas. Mereka melaporkan bahwa distribusi perpindahan panas pada permukaan dengan bentuk V rusuk lebih tinggi dari kotak rusuk lainnya [2]. Karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan dalam sistem rusuk telah menjadi bahan penelitian secara luas karena perannya yang penting dalam berbagai aplikasi keteknikan. Perpindahan panas pada penelitian ini menggunakan media saluran segiempat dengan dinding bagian dalamnya bersirip atau berusuk. Dimana rusuk sebagai turbulator dapat meningkatkan turbulensi aliran fluida sehingga akan mempengaruhi laju perpindahan panas dan meningkatkan koefisien konveksi antara fluida yang mengalir dengan dinding saluran. Dari uraian diatas terlihat permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik perpindahan panas an penurun tekanan pada saluran segiempat dengan rusuk V 90° dengan variasi jarak rusuk. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa laju perpindahan panas dan penurunan tekanan pada saluran segiempat dengan rusuk V 90° . dalam saluran segiempat dengan variasi jarak rusuk.

Parameter Tanpa Dimensi

Persamaan perpindahan panas konveksi berkaitan dengan variabel penting yang dinamakan parameter tanpa dimensi (*dimensionless*). Parameter tanpa dimensi dalam kaitannya dengan perpindahan panas konveksi adalah:

Bilangan Reynolds (Re)

Dua jenis bilangan Reynolds digunakan untuk menggolongkan kondisi aliran. Pertama adalah bilangan Reynolds berdasarkan kecepatan rata-rata (V) dalam saluran halus (*smooth duct*) dan diameter hidrolis dari saluran (D_h) dan dinyatakan dengan :

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} \quad (1)$$

Bilangan Nusselt (*Nusselt Number*)

Bilangan Nusselt adalah bilangan tanpa dimensi yang menyatakan perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi terhadap konduktivitas termal fluida.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (3)$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad 4000(Re > 4000). \quad (4)$$

Untuk saluran udara segiempat, diameter hidrolis, D_h , dihitung dengan persamaan:

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4 \cdot H \cdot w_b}{2 \cdot (H + w_b)} \quad (5)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) koefisien perpindahan panas konveksi dapat juga dinyatakan dengan.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Dh} \quad (6)$$

Kesetimbangan energi kondisi tunak (*steady state*) untuk permukaan uji yang dipanaskan secara elektrik adalah sebagai berikut [8]:

$$Q_{elect} = Q_{conv} + Q_{loss} \quad (7)$$

Input panas listrik dapat dihitung dari tegangan listrik dan arus listrik yang disuplai ke permukaan. Kehilangan panas (*heat loss*), Q_{loss} dari sistem bisa karena: radiasi dari permukaan, konduksi melalui dinding-dinding saluran ke atmosfer. Sehingga persamaan (6) dapat ditulis menjadi :

$$Q_{elect} = Q_{conv} + Q_{rad} + Q_{cond} \quad (8)$$

Pada penelitian yang serupa, Naik et al [20] melaporkan bahwa total *heat loss* radiasi dari permukaan uji yang serupa sekitar 0,5% dari total input panas listrik, sehingga *radiative heat loss* diabaikan. *Heat loss* karena konduksi dari sisi dinding-dinding dapat diabaikan dibandingkan dari permukaan bawah dari seksi uji, karena luas total sisi plat yang dipanaskan jauh lebih kecil dari luas permukaan bawah. Pada penelitian ini, permukaan bawah dari plat uji tidak dipapar ke aliran, dan disolasi dengan kombinasi lapisan isolator dan lapisan kayu, sehingga *heat loss* konduksi dapat diabaikan.

$$Q_{elect} = Q_{conv} \quad (9)$$

Tahanan panas dari permukaan bersirip dengan cara konveksi :

$$R = V \times I \quad (10)$$

Daya Panas yang dipindahkan dari permukaan bersirip dengan cara konveksi adalah :

$$Q_{elect} = \frac{V^2 \times \theta}{R} \quad (11)$$

Menghitung laju perpindahan panas dari persamaan (10), Q_{conv} Laju perpindahan panas konveksi juga dinyatakan dari percobaan dapat diukur menggunakan termokopel. Sedangkan sifat termofisik dari udara C_p dihitung berdasarkan temperatur udara rata-rata, $m = \rho \cdot A_t \cdot V$ menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{conv} = m \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (12)$$

$$Q_{conv} = h \cdot A_s \cdot [T_b - (\frac{T_{in} + T_{out}}{2})] \quad (13)$$

Untuk menghitung laju aliran massa udara m , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$m = \rho \cdot A_t \cdot V \quad (14)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Fenomena Dasar Mesin Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

Bahan dan Alat

Adapun peralatan dalam percobaan ini seperti pada Gambar 2. Bahan dan alat yang digunakan dalam analisa perpindahan panas pada saluran segi empat dengan rusuk adalah Saluran udara segiempat Saluran udara segiempat dibuat menggunakan triplek berlapis melamin dengan rangka dari kayu, dimana dengan spesifikasi dimensi penampang bagian dalam dari saluran udara segiempat adalah 150 mm x 75 mm x 2000 mm. Saluran udara segi empat ini dilengkapi dengan:

Fan hisap merupakan modifikasi sedemikian rupa dari blower, prinsipnya adalah memanfaatkan sisi *suction* blower sehingga udara yang mengalir dalam saluran segi empat adalah udara yang dihisap oleh blower. Pemanas Listrik (*Electric Heater*). Terbuat dari lilitan kawat nikelin dengan panjang 10 m, dan diameter 0,5. jumlah lilitan pada kertas mika 26 lilitan yang dililitkan pada kertas mika tahan panas dengan dimensi panjang 180 mm, lebar 130 mm, dan tebal 0,5 mm.. Pelurus Aliran Udara (*Flow Straightener*). Terbuat dari sedotan plastik berdiameter 5 mm, panjang 200 mm yang disusun sedemikian sehingga membentuk segiempat dengan dimensi 150 mm x 75 mm x 200 mm, dipasang pada bagian udara masuk ke saluran udara segiempat



Gambar 2. Peralatan penelitian

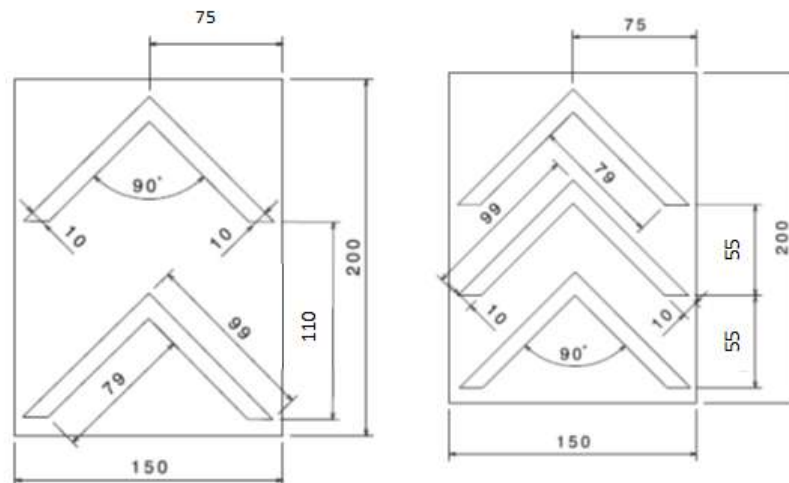
Manometer tipe U Manometer digunakan untuk mengukur penurunan tekanan udara yang terjadi antara sisi masuk dan sisi keluar seksi uji. Manometer pipa U terbuat dari selang plastik berdiameter 5 mm yang kedua ujungnya ditempatkan pada awal dan akhir dari seksi uji sejarak 250 mm, sehingga dapat mengukur besarnya beda tekanan yang terjadi antara keduanya. Fluida yang digunakan dalam manometer ini adalah solar. Termokopel. termokopel tipe T yang dipasang di tiap titik pengukuran berbeda yaitu untuk mengukur temperatur udara masuk sebelum melewati seksi uji, mengukur temperatur udara keluar seksi uji, dan untuk mengukur temperatur permukaan *base plate*. *Thermocouple digital*. Alat ini digunakan untuk menunjukkan temperatur yang diukur oleh sensor termokopel. Dimmer adalah sebuah rangkaian komponen elektronika dari input sinyal AC kemudian sinyal tersebut diproses Menjadi sinyal AC Phase maju dari pada sinyal AC inputan, yang menyebabkan Penurunan Daya (Watt). Anemometer Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam saluran udara segiempat (seksi uji). Speed controller Rheostat digunakan untuk mengatur putaran *fan* hisap agar didapatkan kecepatan aliran udara yang diinginkan. Voltmeter digital Voltmeter digunakan untuk mengukur besarnya tegangan listrik yang dibutuhkan *heater* untuk mencapai temperatur permukaan *base plate* yang diinginkan. Amperemeter Amperemeter digunakan untuk mengukur besarnya arus listrik yang dibutuhkan *heater* untuk mencapai temperature *base plate* yang diinginkan.

Spesimen

Spesimen berupa rusuk V seperti Gambar 3 dengan dimensi plat datar (*base plate*) panjang 200 mm, lebar 150 mm, tebal plate 1 mm, dan rusuk V 10 mm dengan sudut 90° dengan bahan besi. Yang dipasang didalam saluran segiempat tersebut.

Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah Prosedur percobaan sebagai berikut:
Memasang spesimen kedalam saluran udara. Menghubungkan semua termokopel dengan thermocouple reader. Menghidupkan heater sebagai pemanasan awal (*preaheating*) Menghidupkan fan hisap. Mengatur kecepatan udara sebesar 1 m/s dengan mengatur putaran fan hisap menggunakan rheostat. Mengatur temperatur permukaan base plate . Mencatat seluruh data temperatur dan beda tinggi fluida anemometer (h) setiap 15 menit sampai didapatkan temperatur steady. Mencatat tegangan listrik dan arus listrik yang mengalir pada heater dan fan hisap Mematikan heater setelah selesai mengambil data. Mematikan fan. Mengulangi langkah percobaan 1-10 untuk variasi kecepatan udara lain 1 m/s, dan 5 m/s . Mengulangi langkah percobaan 1-11 dengan mengganti spesimen untuk variasi jumlah rusuk V yang lain. Memastikan alat setelah selesai mengambil semua data.



Gambar 3. Skema rusuk rib V dengan sudut 90°

HASIL DAN PEMBAHASAN

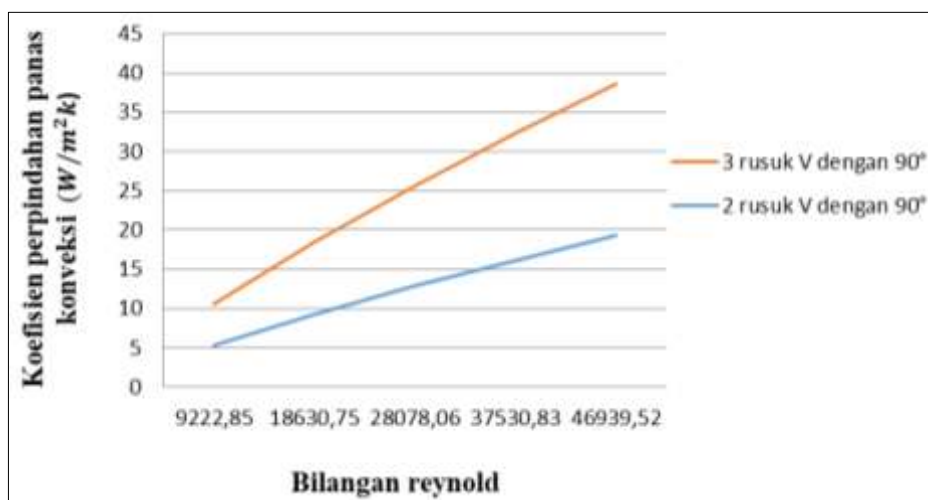
Perpindahan panas konveksi

Dari Gambar 4 pengaruh bilangan Reynold terhadap koefisien perpindahan panas konveksi $W/m^2.K$. Pada spesimen 2 rusuk V dengan bilangan Reynold 9222,85 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 5,300 $W/m^2.K$, pada bilangan Reynold 18630,758 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 9,258 $W/m^2.K$, pada bilangan Reynold 28093,61 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 12,823 $W/m^2.K$, pada bilangan Reynold 37530,83423 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 16,154 $W/m^2.K$, pada bilangan Reynold 46939,52 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 19,315 $W/m^2.K$.

Dari uraian tersebut nilai paling tinggi laju perpindahan panas konveksi adalah 19,315 $W/m^2.K$ dan nilai yang paling rendah adalah 5,300 $W/m^2.K$. Sedangkan pada spesimen 3 rusuk V dengan bilangan Reynold 9222,85 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 5,305 $W/m^2.K$,

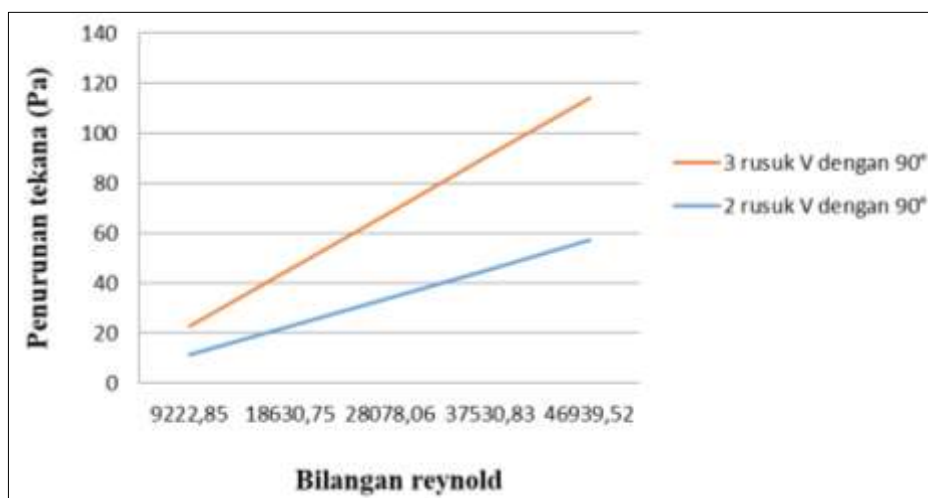
Copyright©2021 Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. This is an open acces article under the CC-BY-SA lisenca (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

pada bilangan Reynold 18630,75 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 9,265 W/m².K, pada bilangan Reynold 28093,61 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 12,826 W/m².K, pada bilangan Reynold 37530,83 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 16,154 W/m².K, pada bilangan Reynold 46939,52 koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 19,317 W/m².K. Dari uraian tersebut nilai paling tinggi laju perpindahan panas konveksi adalah 19,317 W/m².K dan nilai yang paling rendah adalah 5,305 W/m².K. Kenaikan bilangan Reynold pada rezim aliran turbulen. koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynold hal ini sesuai dengan pernyataan (K.Umurani, Muharnif, 2019), Penambahan luasan permukaan perpindahan panas juga meningkatkan laju perpindahan panas hal ini dibuktikan dengan semakin banyaknya rusuk yang diterapkan maka perpindahan panas semakin meningkat hal ini sesuai dengan Ravi et.al [2].



Gambar 4. Reynold terhadap koefisien perpindahan konveksi pada variasi jarak rusuk

Penurunan Tekanan



Gambar 5. Reynold terhadap Penurunan tekanan pada variasi jarak rusuk

Dari gambar 5 terlihat pengaruh bilangan Reynold terhadap Penurunan tekanan Pa. Pada spesimen 2 rusuk V dengan bilangan Reynold 9222,85 penurunan tekanan sebesar 11,317 Pa, pada bilangan Reynold 18630,75 penurunan tekanan sebesar 22,762 Pa, pada bilangan Reynold 28093,61 penurunan tekanan sebesar 34,244 Pa, pada bilangan Reynold 37530,83 penurunan tekanan sebesar 45,708 Pa, pada bilangan Reynold 46939,52 penurunan tekanan sebesar 57,153 Pa. Dari uraian tersebut nilai paling tinggi penurunan tekanan Pa adalah 57,153 Pa dan nilai yang paling rendah adalah 11,317 Pa. Sedangkan pada spesimen 3 rusuk V dengan bilangan Reynold 9222,85 penurunan tekanan sebesar 11,335 Pa, pada pada bilangan Reynold 18630,75 penurunan tekanan sebesar 22,794 Pa, pada bilangan Reynold 28093,61 penurunan tekanan sebesar 34,233 Pa, pada bilangan Reynold 37530,83 penurunan tekanan sebesar 45,708 Pa, pada bilangan Reynold 46939,52 penurunan tekanan sebesar 57,161 Pa. Dari uraian tersebut nilai paling tinggi penurunan tekanan Pa adalah 57,161 Pa dan nilai yang paling rendah adalah 11,335 Pa. Hal ini sesuai dengan pernyataan K.Umurani [18] dan kenaikan peprindahan panas selalu diiringi dengan peningkatan penurunan tekan, tentu saja hal ini tidak diinginkan karena akan membutuhkan daya pemompaan yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan mengenai pengujian karakteristik perpindahan panas dan laju perpindahan panas konveksi serta faktor gesekan pada rusuk V dalam saluran segiempat sebagai berikut:

1. Koefisien perpindahan panas pada jarak rusuk yang lebih rapat memberikan perpindahan panas yang lebih baik .
2. Penurunan tekanan Pa pada jarak rusuk yang rapat lebih tinggi dibandingkan dengan penurunan tekanan pada jarak rusuk yang lebih renggang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahn, SW. Kang, AH. Putra, ABK. Lee, DH. 2007 ,An Experimental Investigation of Heat Tranfer and Friction in a Ribbed Square Channel, Journal Process mechanical Engineering. Vol. 221 Part E
- [2] Ravi, B.V., Singh, P., and Ekkad, S.V. (2017). Numerical investigation of turbulent flow and heat transfer in two-pass ribbed channels. International Journal of Thermal Sciences 112, 31-43.
- [3] E. Lee, L.M. Wright, J.C. Han eat transfer in rotating rectangular channels (AR=4:1) with V-shaped and angled rib turbulators with and without gaps, ASME Paper, (2003) pp. GT2003-38900.
- [4] Sara O., Pekdemir T., , Yapici S., Ersahan H., 2000, Thermal performance analysis for solid and perforated blocks attached on a flat surface in duct flow, Energy Conversion & Management, Vol. 41, pp. 1019-1028
- [5] Sara ON, Yaplcı S, Ytlmaz M, 2001, Second law analysis of rectangular channels with square pin-fins. Int Commun Heat Mass Transf ;28:617–30.
- [6] Sahin B., and Demir A., 2008, “Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins”, Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 621–632.

- [7] Tahat, M., Kodah Z.H., Jarrah, B.A., and Probert, S.D., 2000, Heat Transfers from Pin-Fin Arrays Experiencing Forced Convection, *Applied Energy*, Vol. 67, pp. 419-442.
- [8] Bilen K., Akyol U., Yapici S., 2001, "Heat Transfer and Friction Correlations and Thermal Performance Analysis for A Finned Surface", *Energy Conversion & Management*, Vol. 42, pp. 107–1083.
- [9] Istanto, T., & Rokhadi, A. W. (2011). Pengujian karakteristik perpindahan panas dan penurunan tekanan sirip-sirip pin ellips susunan selang-seling dalam saluran segiempat : 9, 300–307.
- [10] Theeb, A. H. F., & Abdullah, M. (2019). Experimental investigations on heat transfer enhancement for a high aspect ratio rectangular duct roughened by intersecting ribs with inclined ribs, *international journal of Energy and environment* Vol. 10 (2) pp. 65–76.
- [11] V. SriHarsha, S. V. Prabhu, R. P. Vedula Influence of rib height on the local heat transfer distribution and pressure drop in a square channel with 90° continuous and 60° V-broken ribs, *Applied Thermal Engineering*, 29 (2009) pp. 2444–2459.
- [12] Li Q., Chen Z., Flechtner U., Warnecke H.J., 1998, Heat transfer and pressure drop characteristics in rectangular channels with elliptic pin fins, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 19, pp. 245-250
- [13] Winarno J, Kamal S. 2008. Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah dan Diameter Lubang pada Sirip Sekeliling Silinder Luar Terhadap Laju Perpindahan Kalor. Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi 2008 – I st Akprind Yogyakarta: 171-180
- [14].Naphon P., and Sookkasem A., 2007, Investigation on Heat Transfer Characteristics of Tapered Cylinder Pin Fin Heat Sinks", *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 2671–2679.
- [15] J.C. Han, J.S. Park, C.K. Lei Heat transfer enhancement in channels with turbulence promoters, *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 107 (1985) pp. 628–635.
- [16] M.E. Taslim, T. Li, and D.M. Kercher Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls, *ASME Journal of Turbomachinery*, 118 (1996) pp. 20–28.
- [17] K, Umurani., Muharnif, M. (2019). Pengaruh Diameter Lubang Pembangkit Vorteks Winglet Melengkung Terhadap Unjuk Kerja Apk Tipe Kompak Studi Eksperimental. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 84–93. <https://doi.org/doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3072>
- [18] Lu, B., and Jiang, P.-X. (2006). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs. *Experimental Thermal and Fluid Science* 30, 513-521.
- [19] M. Maurer, J. von Wolfersdorf, M. Gritsch An Experimental and Numerical Study of Heat Transfer and Pressure Losses of V- and WShaped Ribs at High Reynolds Numbers, *ASME Paper*, (2007) pp. GT2007-27167.
- [20] Naik.S., Propert, SD, Shilston, MJ, 1987, "Forced Convective Steady State Heat Transfer from Shrouded Vertically Fin Arrays, Aligned Paralel to An Undisturbed Air Stream", *Applied Energy*, Vol. 26, pp. 137–158.