

PENGARUH SUDUT RUSUK TURBULATOR TERHADAP LAJU KONVEKSI PADA SALURAN SEGI EMPAT (*RIBBED SQUARE CHANNEL*) PENDINGIN *BLADE* TURBIN GAS.

Akhmad Farid¹⁾

ABSTRAK

Ribbed square channel merupakan alat penukar kalor dengan penampang saluran berbentuk segi empat dan dinding berusuk. Rusuk pada dinding berfungsi sebagai turbulator untuk membuat turbulensi aliran fluida. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut rusuk terhadap laju perpindahan panas konveksi.

Penelitian ini menguji laju konveksi pada sudut rusuk 30° , 45° dan 45° , serta pada variasi Angka Reynold aliran fluida 7000 hingga 23000.

Penelitian menghasilkan bahwa membesarnya sudut rusuk akan meningkatkan koefisien laju konveksi yaitu berupa meningkatnya angka Nusselt.

Kata kunci : Saluran segi empat, sudut rusuk, Angka Nusselt

PENDAHULUAN

Ribbed square channel adalah saluran penampang segi empat dengan dinding bagian dalam berusuk, dibuat sebagai model untuk sistem pendinginan *blade* turbin gas. *Blade* turbin gas bekerja pada lingkungan temperatur yang relatif tinggi karena bersinggungan langsung dengan gas hasil pembakaran bahan bakar. Umumnya *blade* turbin gas dibuat rongga saluran dan dialirkan udara dingin pada rongga tersebut untuk proses pendinginan sehingga temperatur *blade* dapat terjaga pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur lingkungannya (gas hasil pembakaran).

Blade harus dijaga temperaturnya serendah mungkin walaupun harus bersinggungan dengan temperatur gas hasil pembakaran yang relatif tinggi. Dengan temperatur *blade* lebih rendah akan menjaga kekuatan *blade* tidak berubah terlalu banyak akibat kenaikan temperatur. Dengan kenaikan temperatur *blade* yang tidak terlalu tinggi juga akan menghindari terjadinya perubahan mikrostruktur dari material *blade*.

Untuk meningkatkan koefisien konveksi (h) dinding saluran dapat dibuat kasar, bergelombang atau bersirip untuk meningkatkan turbulensi aliran, dengan turbulensi maka akan meningkatkan koefisien konveksi (h). Dengan rusuk-rusuk yang dipasang pada dinding saluran dengan formasi sudut pada arah aliran fluida akan menimbulkan kombinasi turbulensi dan pusaran (*cyclon*) sehingga diharapkan koefisien konveksi meningkat maka laju perpindahan panas konveksi meningkat. Rusuk dipasang pada sudut berapa terhadap arah aliran fluida yang akan memberikan laju perpindahan konveksi yang maksimum.

Untuk meningkatkan laju konveksi dapat dilakukan dengan mengubah perilaku aliran fluida, yaitu dengan memasang rusuk pada dinding saluran sehingga menyerupai sirip.

Dengan rusuk pada dinding, disamping menimbulkan turbulensi akan menimbulkan aliran pusaran. Dengan formasi sudut rusuk yang bervariasi terhadap arah aliran fluida maka akan memberikan tingkat pusaran aliran yang berbeda, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan variasi sudut rusuk. Dari uraian diatas maka bagaimana pengaruh variasi sudut rusuk terhadap koefisien perpindahan panas konveksi dengan pada saluran segi empat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut rusuk terhadap koefisien laju konveksi.

Penelitian Sebelumnya.

S W Ahn (2007) menguji karakteristik *heat transfer* dan *friction* aliran udara *turbulent* pada saluran penampang segi empat berusuk (*ribbed square channel*) dengan sudut 45° dan variasi angka reynold 7.600 sampai 24.900 serta variasi dinding saluran tanpa rusuk (*smooth wall*), satu, dua dan empat dinding berusuk, dan melaporkan hasilnya bahwa angka Nusselt untuk dua dinding berusuk mempunyai angka Nusselt 1,49 sampai 1,52 kali lebih besar dari dinding tanpa rusuk untuk angka Reynold yang sama. Kang (2007) memprediksi secara numerik dan melaporkan bahwa faktor gesekan pada dua dinding berusuk 3,6 kali lebih besar dibanding dinding tak berusuk.

Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas (*heat transfers*) terdiri dari 3 macam, yaitu perpindahan panas secara konduksi, perpindahan panas secara konveksi dan perpindahan panas secara radiasi. Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan energi berupa panas dari satu titik ke titik yang lain melalui materi yang diam, baik melalui materi padat maupun fluida yang tidak terjadi pergerakan. Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan energi panas melalui pancaran gelombang elektromagnetik tanpa media

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

materi. Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan energi panas dari penampang benda padat kepada fluida yang menyentuh penampang tersebut atau sebaliknya dimana fluida tersebut mengalami pergerakan, pergerakan fluida dapat secara alami (*natural convection*) maupun secara paksa (*forced convection*) yang mempunyai dua mode yang berbeda yaitu *internal forced convection* dan *external forced convection*.

$$q_{conv} = h (T_s - T_\infty) \quad (W/m^2)$$

(Cengel, 2005, hal.335)

Perpindahan panas total konveksi Q

$$Q_{conv} = h A (T_s - T_\infty) \quad (W)$$

(Cengel, 2005, hal.335)

Dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = luas penampang perpindahan panas (m^2)

T_s = temperatur permukaan ($^\circ C$)

T_∞ = temperatur fluida ($^\circ C$)

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan panas antara permukaan benda padat (*solid surface*) dengan fluida per satuan luas penampang per satuan beda temperature.

Tidak mudah menentukan besar nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) karena sangat kompleks dan tergantung dari banyak variabel, diantaranya tergantung pada kecepatan fluida, densitas, koefisien konduksi fluida dan jenis aliran fluida yaitu laminar atau turbulen.

Pada distribusi kecepatan aliran fluida berkembang penuh (*fully developed flow*), kecepatan fluida pada lapis batas adalah nol. Terdapat lapisan tipis fluida yang menempel pada permukaan dinding solid yang disebut lapis batas, sehingga pada lapis batas hanya terjadi konduksi. Perpindahan panas pada lapis batas :

$$q_{conv} = q_{kond} = -k_{fluid} \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (W/m^2)$$

(Cengel, 2005, hal.335)

dimana T adalah distribusi temperatur pada fluida dan $(\partial T / \partial y)_{y=0}$ adalah gradien temperatur pada permukaan. Mekanisme konveksi terjadi pada aliran fluida tetapi melalui lapis batas fluida sehingga koefisien perpindahan panas konveksi adalah :

$$h = \frac{k_{fluid} (\partial T / \partial y)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

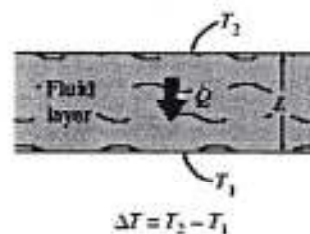
(Cengel, 2005, hal.336)

Angka Nusselt

Angka Nusselt adalah besaran nondimensional yang menunjukkan koefisien konveksi pada lapis batas, yaitu :

$$Nu = \frac{h L_c}{k} \quad (\text{Cengel, 2005, hal.336})$$

dimana k adalah konduktivitas thermal fluida dan L_c adalah panjang karakteristik (tebal lapis batas) fluida.



Gambar 1. Perpindahan Panas Pada Lapis Batas

Sumber: Cengel, 2005, hal. 336

Perpindahan panas melalui lapisan fluida akan terjadi dengan konveksi apabila fluida mengalami pergerakan dan dengan konduksi apabila lapisan fluida diam tidak terjadi pergerakan. *Heat flux* (laju perpindahan panas per satuan waktu per satuan luasan) yang terjadi adalah :

$$q_{conv} = h \Delta T \quad \text{dan} \quad q_{kond} = k \frac{\Delta T}{L}$$

(Cengel, 2005, hal. 336)

Perbandingan keduanya didapatkan :

$$\frac{q_{conv}}{q_{kond}} = \frac{h \Delta T}{k \Delta T / L} = \frac{h L}{k} = Nu$$

(Cengel, 2005, hal. 336)

yang mana didapatkan angka Nusselt. Angka Nusselt menunjukkan tingkat perpindahan panas melalui lapisan fluida antara konveksi relatif terhadap konduksi.

Angka Reynold

Angka Reynold adalah perbandingan antara gaya inersia fluida terhadap gaya viskos fluida.

$$Re = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscous}} = \frac{V L_c}{\nu} = \frac{\rho V L_c}{\mu}$$

(Cengel, 2005, hal. 343)

dimana : V = kecepatan aliran fluida

L_c = panjang karakteristik

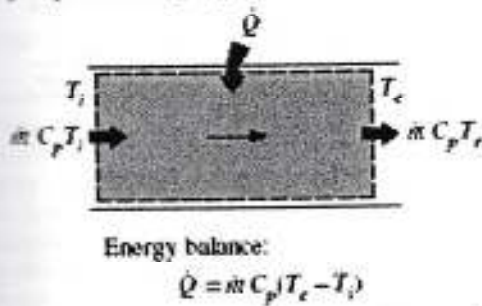
$\nu = \mu / \rho$ adalah viskositas kinematik fluida

Angka Reynold menunjukkan apakah aliran itu laminar atau turbulen, dengan batasan $Re < 2300$ adalah aliran laminar, $Re > 10.000$ adalah aliran turbulen sedangkan $2300 \leq Re \leq 10.000$ adalah aliran transisi. Dalam penelitian angka Reynold ditentukan dengan mengatur kecepatan aliran fluida karena variabel yang lain adalah sifat fluida dan dimensi salurannya.

Internal forced convection

Internal forced convection merupakan salah satu jenis perpindahan panas konveksi yang

terjadi pada saluran tertutup, dimana konveksi terjadi pada dinding bagian dalam saluran.

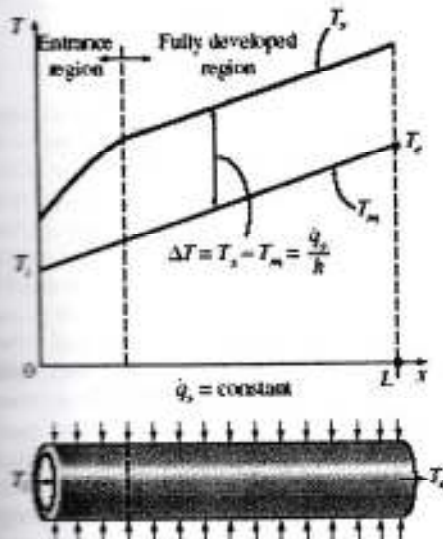


Gambar 2. Kestimbangan energi pada *Internal forced convection*

Sumber: Cengel, 2005, hal. 427

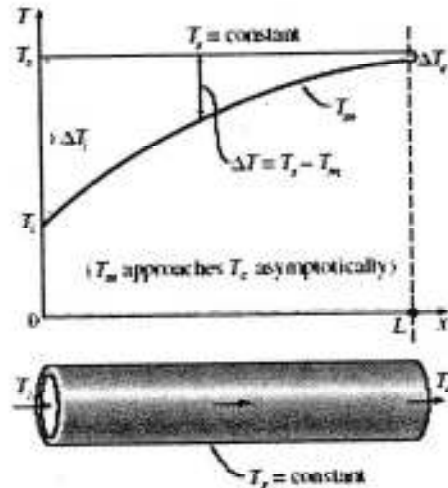
Persamaan konservasi energi untuk aliran *steady* : $\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_e - T_i)$ (Cengel, 2005, hal. 427) dimana T_i dan T_e adalah temperatur rata-rata pada sisi masuk dan keluar saluran, dan $\dot{Q}$ adalah laju perpindahan panas dari atau ke fluida.

Kondisi termal pada permukaan dinding saluran dapat diasumsikan sebagai *constant surface temperature* atau *constant surface heat flux*



Gambar 3 *Constant surface heat flux* dan profil temperatur

Sumber: Cengel, 2005, hal. 427



Gambar 4 *Constant surface temperature* dan profil temperatur

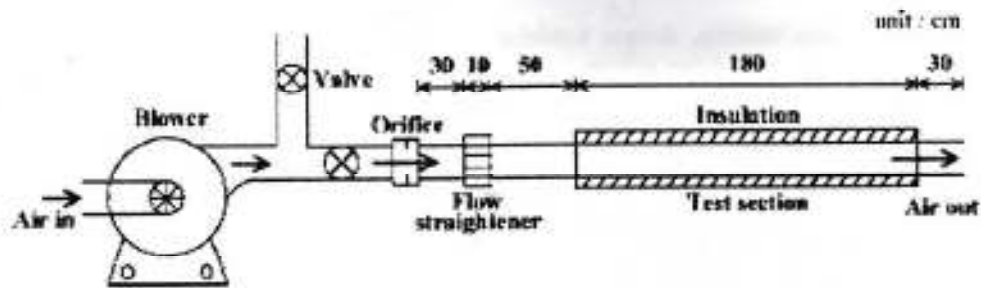
Sumber: Cengel, 2005, hal. 429

METODE PENELITIAN

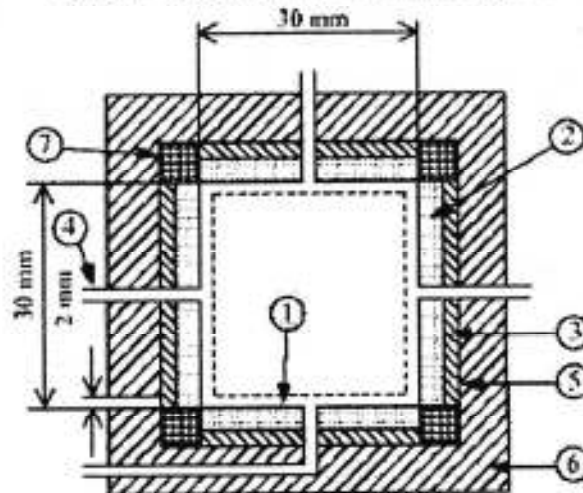
Peralatan pengujian (*experimental apparatus*).

Gambar 5-1 menggambarkan diagram skematik alat pengujian. Sebuah blower digunakan untuk mengalirkan udara dari ruang atmosfer melalui pipa fleksibel diameter 81,6 mm. Udara mengalir melalui *orifice* untuk mengukur *flowrate*, selanjutnya melewati saluran lurus sepanjang 900 mm dengan diameter hidrolis 30 mm dan panjang 900 mm dan terakhir melewati saluran pengujian (*square channel test*) dengan diameter hidrolis 30 mm sepanjang 1800 mm.

Detail dari *test section* ditampilkan pada gambar 5-2, dinding test terbuat dari plat aluminium tebal 5 mm dan luas penampang 30x30 mm. Pada dinding bagian samping bersebelahan dipasang rusuk dengan tebal $e = 2$ mm ($e/D_h = 0,067$) dengan jarak antar rusuk $p = 16$ mm ($p/e = 8$). Dinding saluran test dilapisi papan kayu setebal 50 mm sebagai isolasi panas. *Thermocouple* dipasang pada dinding saluran pada bagian dekat kedua ujung dan tengah untuk mengetahui temperatur dinding saluran, kemudian *thermocouple* juga dipasang pada penampang ujung masuk dan keluar saluran tes untuk mengukur suhu udara masuk dan keluar saluran tes. Empat sensor tekanan dipasang pada 4 titik sepanjang saluran ditengah penampangnya.



Gambar 5 Diagram skematik instalasi pengujian.



1. Dinding dipasang rusuk (tinggi 2 mm)
2. Plat AL (tebal 5 mm)
3. Heater
4. Pressure tap
5. Sekat
6. Papan kayu
7. Isolasi (gypsum)

Gambar 6. Penampang bagian pengujian (test section).

Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel penelitiannya terdiri dari :

Variabel bebas :

- sudut formasi rusuk pada dinding saluran (30° , 45° dan 60°)
- bilangan Reynold (7600, 10000, 12.500, 15.000, 17.500, 20.000, 22.500 dan 24.900)

Variabel terikat : laju perpindahan panas konveksi

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Phenomena Dasar Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang, pengambilan data dilakukan bulan Juni 2009.

Prosedur Pengambilan Data

Pengujian dilakukan dalam 3 variasi yaitu sudut rusuk pada dinding 30° , 45° dan 60° . Pada masing-masing sudut rusuk pengujian dilakukan dengan variasi bukaan katup mulai 1/8 sampai bukaan penuh untuk mendapatkan variasi angka Reynold aliran udara.

Adapun pengambilan data dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Hidupkan blower
2. Buka katup pada posisi 1/8
3. Hidupkan heater
4. Amati temperatur pada titik-titik pengamatan sampai kondisi steady (stabil) lalu catat
5. Catat tekanan pada orifise
6. Lakukan seperti prosedur diatas untuk variasi bukaan katup berikutnya sampai bukaan katup penuh.

Rancangan pengambilan data.

Pengambilan data dilakukan dengan cara :

1. Pengambilan data dilakukan dengan tiga tahap untuk tiga variabel bebas yaitu sudut rusuk 30° , 45° dan 60° .
2. Pada masing-masing variasi sudut rusuk, pengamatan dilakukan dengan variasi kapasitas aliran udara dengan cara bukaan katup bervariasi mulai 1/8 hingga bukaan penuh seperti urutan pada tabulasi data.

3. Pada masing-masing kondisi seperti variasi diatas, data yang diamati adalah temperature pada masing-masing titik dan tekanan orifise.

Analisa data

Pengolahan data dilakukan untuk membandingkan laju konveksi pada variasi kecepatan fluida (angka Reynold) dengan sudut rusuk 30° , 45° dan 60° . Hasil-hasil pengolahan data ini dikonversikan dalam bentuk grafik hubungan antara bilangan Reynold versus laju perpindahan panas konveksi dan dalam satu grafik tersebut menampilkan 3 garis kurva sudut rusuk 30° , 45° dan 60° .

Selanjutnya akan digambarkan pula grafik hubungan angka Reynold versus angka Nusselt dengan garis kurva pada sudut rusuk 30° , 45° dan 60° .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian



Pembahasan

Hasil pengolahan data dengan ditampilkan pada grafik menunjukkan Angka Nusselt meningkat pada Angka Reynold yang membesar. Secara umum Angka Nusselt konstan pada berbagai Angka Reynold, pada penelitian ini hasil yang didapat nilainya meningkat dengan meningkatnya Angka Reynold, hal ini mungkin disebabkan oleh faktor isolator pada pemanas pada alat uji. Pada Angka Reynold rendah, laju aliran fluida juga rendah sehingga temperature dinding saluran akan tinggi sehingga tingkat kebocoran panas juga tinggi. Dari factor tersebut yang mengakibatkan pada Angka Reynold rendah efisiensi peralatan lebih kecil dibanding dengan efisiensi pada angka Reynold yang lebih tinggi. Hal ini yang menyebabkan hasil penelitian terdapat penyimpangan tidak konstannya (meningkatnya) Angka Nusselt pada berbagai angka Reynold.

Angka Nusselt hasil regresi linier menunjukkan, untuk sudut rusuk 30° nilainya sekitar 66,2 pada Angka Reynold 7053,9 hingga 72,3 pada Angka Reynold 23418,23. Sedangkan pada sudut rusuk 45° nilai Angka Nusseltnya 67,8 pada Angka Reynold 7053,9 hingga 74,4 pada Angka Reynold 23418,23. Serta pada sudut rusuk 60° nilai Angka Nusseltnya 69,7 pada Angka Reynold 7053,9 hingga 77,3 pada Angka Reynold 23418,23.

Angka Nusselt yang meningkat juga laju konveksi yang meningkat pada sudut

rusuk yang semakin besar menunjukkan bahwa perilaku aliran fluida berubah semakin turbulen akibat sudut rusuk yang semakin besar. Hal ini sesuai dengan dasar teori yang ada bahwa Angka Nusselt tergantung pada bilangan Reynold aliran fluida, pada aliran dengan Angka Reynold yang semakin tinggi perilaku fluida semakin acak sehingga meningkatkan proses konveksi yang terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan sudut rusuk yang dipasang pada *ribbed square channel* berpengaruh terhadap laju perpindahan panas konveksi dari dinding saluran ke fluida yang mengalir
2. Semakin besar sudut rusuk menambah laju perpindahan panas konveksi dari dinding saluran ke fluida yang mengalir

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, SW. Kang, A.H. Putra, A.B.K. Lee, D.H. 2007, *An Experimental Investigation of Heat Transfer and Friction in a Ribbed Square Channel*, Journal Process Mechanical Engineering. Vol. 221 Part E
- Cengel, Yunus. 2004, *Heat Transfer in Engineering Approach*, McGraw Hill Inc. New York.
- Holman J.P. 1985, *Metode Pengukuran Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Incropera, F. P. 1996, *Introduction to Heat Transfer*, John Welley & Sons, New York
- Kang, A.H. Ahn, SW. Bae, S.T. Lee, D.H. 2007, *Analysis of the Heat Transfer and Friction in a Ribbed Square Channel Using Numerical and Experimental*, Journal Process Mechanical Engineering. Vol. 221 Part E