

STUDI TEGANGAN GESER DINDING DAN PERPINDAHAN PANAS UNTUK SEBUAH FIN BERSIRIP TUNGGAL DENGAN ALIRAN SILANG

Berkah Fajar TK

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Tembalang-Semarang 50255

Abstrak

Studi ini meneliti hubungan antara tegangan geser dinding dan perpindahan panas untuk sebuah Fin-Silinder dengan aliran silang. Tegangan geser dinding diperoleh dengan mengalikan viskositas fluida dengan gradient kecepatan dinding. Gradient kecepatan dinding diukur dengan menggunakan metoda Polarography. Gradient kecepatan ini diukur pada $Re_x = 17000, 51000$ dan 85000 . Perpindahan panas ditentukan dengan menggunakan analogi perpindahan momentum dan massa/panas. Hasil analogi perpindahan massa dan momentum sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Stasiulevicius et.al. Hubungan tegangan geser dinding dan panas adalah sebagai berikut : $Nu = 0.27 \cdot Re_x^{0.64}$

1. Pendahuluan

Studi ini bertujuan untuk menentukan tegangan geser dinding dan perpindahan panas untuk sebuah fin bersirip tunggal dengan aliran silang. Hal yang menarik pada studi ini adalah terjadinya aliran yang kompleks di permukaan fin. Aliran ini sering disebut "horsehoes vortex" [1,4]. Hubungan antara perpindahan panas konveksi pada fin silinder ini akan diteliti untuk Re_x 17000, 51000 dan 85000. Penelitian ini akan menggunakan analogy Reynolds tentang analogy perpindahan massa/panas dan perpindahan momentum. Analogi ini telah digunakan oleh banyak peneliti dengan hasil yang baik. Dengan menggunakan analogi Reynolds tersebut diperoleh korelasi antara perpindahan panas dan koefisien friksi [4,6,8]

2. Teknik Pengukuran

Teknik pengukuran tegangan geser dinding yang digunakan pada studi ini diturunkan dari metoda analisa elektrokimia, Polarography. Metoda polarography didasarkan pada pengukuran koefisien transfer untuk sebuah elektroda dibawah kontrol difusi (Reiss dan Hanratty, 1962). Reaksi yang terjadi adalah reaksi reduksi oksidasi pada elektroda. Perpindahan massa pada katoda berhubungan dengan gardien kecepatan dinding. Reaksi yang terjadi pada katoda tersebut terjadi semata-mata hanya oleh difusi dan konveksi. Gradient kecepatan dinding ditentukan oleh pengukuran arus i yang sebanding dengan koefisien perpindahan massa K . Koefisien tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$K = \frac{i}{A \cdot n_e \cdot F \cdot C_0} \quad (1)$$

dimana n_e adalah jumlah elektron pada persamaan stoichiometri reaksi redox, F adalah konstanta Faraday, C_0 adalah konsentrasi curah dan A adalah luas permukaan probe.

Pada metoda Polarography ini digunakan larutan yang mempunyai bilangan Schmidt besar, maka

tebal lapisan batas kecepatan jauh lebih besar di banding tebal lapisan batas konsentrasi. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka distribusi gradient kecepatan di dalam lapisan batas konsentrasi dapat didekati dengan hubungan sebagai berikut: $U = Sy$, dimana y adalah jarak tegak lurus dari dinding.

Medan konsentrasi dapat ditunjukkan dengan persamaan kesetimbangan massa:

$$\frac{\partial C^+}{\partial t^+} + \frac{y^+}{\tilde{S}} S^+ \frac{\partial C^+}{\partial x^+} = \frac{1}{\tilde{S}^{2/3}} \frac{\partial^2 C^+}{\partial x^{+2}} + \frac{\partial^2 C^+}{\partial y^{+2}} \quad (2)$$

dimana:

$$C = \frac{C}{C_0} \quad x^+ = \frac{x}{l} \quad y^+ = \frac{y \tilde{S}^{1/3}}{l}$$

$$S^+ = \frac{Sl^2}{D} \quad t^+ = \frac{t D \tilde{S}^{2/3}}{l^2} \quad K_i^+ = \frac{K_i l}{D}$$

l adalah panjang elektroda.

Dengan kondisi batas sebagai berikut:

$C^+ = 1$ untuk medan konsentrasi jauh dari dinding

$C^+ = 0$ pada elektroda

$\frac{\partial C^+}{\partial y^+} = 0$ pada dinding yang diisolasi

Koefisien transfer dapat ditulis juga sebagai berikut:

$$K_i^+ = \frac{\tilde{S}^{1/3}}{A} \int_0^A \left(\frac{\partial C^+}{\partial y^+} \right)_{y=0} dA \quad (3)$$

Dari persamaan (3), koefisien transfer dapat ditentukan dengan lebih dahulu mencari solusi medan konsentrasi C^+ dari persamaan (2). Persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi dua dimensi dengan asumsi untuk elektroda persegi empat yang telah diturunkan oleh Reiss dan Hanratty, 1962.

Solusi Koefisien transfer untuk elektroda persegi empat adalah sebagai berikut :

$$K^+ = 0.807 |S^+|^{1/3} \quad (4)$$

Jika elektroda yang di gunakan adalah elektroda berbentuk lingkaran, maka perlu dipertimbangkan adanya efek bentuk. Efek bentuk tersebut adalah dengan mengganti panjang elektroda pada persamaan (4) dengan panjang efektif l_e .

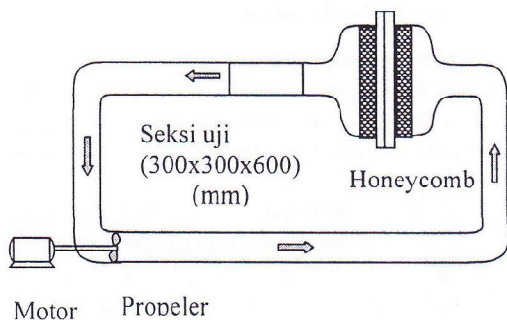
$$l_e = 0.81356 \cdot d \quad (5)$$

3. Perangkat Percobaan

Gradien kecepatan diukur dengan menggunakan metoda Polarography. Pengukuran dilakukan di kanal hidrolik dengan seksi uji berukuran 300x300 mm. Pengukuran ini memanfaatkan reduksi oksidasi Iodida-Triiodida di dalam larutan Kalium Iodida. Larutan tersebut mengandung $0,47 \cdot 10^{-3}$ mol Kalium Iodida per liter dan mempunyai koefisien difusi $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$. Temperatur fluida kerja diatur oleh sebuah penukar kalor supaya temperaturnya bervariasi tidak lebih dari $0,1^\circ\text{C}$. Kanal hidrolik tersebut dibuat dari bahan inert. Reaksi elektrokimia tersebut adalah sebagai berikut:

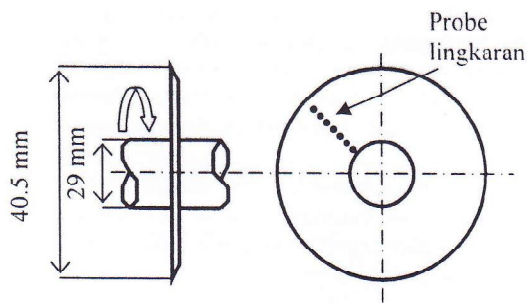


Gambar skematik kanal hidraulik tersebut dapat di lihat pada gambar 1. Sebuah altuglas propeler diputar oleh sebuah variabel motor untuk mengalirkan larutan kalium iodida. Model (silinder bersirip tunggal) diletakkan pada seksi uji dan di putar oleh sebuah d-c motor. Kecepatan putar model dikendalikan dengan mengatur tegangan listik yang masuk ke motor tersebut. Kecepatan putar diukur oleh sebuah "opto interrupter" yang dihubungkan ke sebuah "spectrum analyzer".

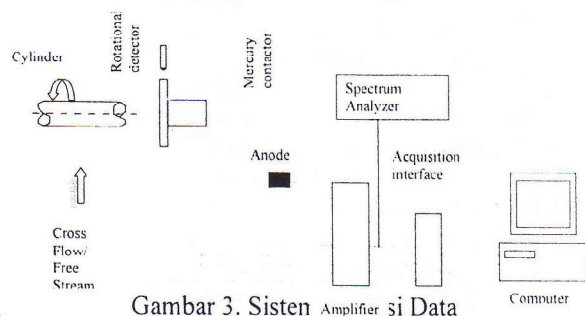


Gambar 1. Kanal Polarography

Model silinder bersirip terbuat dari plexiglas. Diameter silinder adalah 29 mm, kemudian sebuah sirip tunggal berdiameter 90 mm dipasang tegak lurus di permukaan silinder tersebut. Tujuh buah probe lingkaran berdiameter 0.3 mm di pasang secara radial di permukaan sirip. Jarak masing-masing probe dari pusat silinder 16, 18,5, 21, 23,5, 28,5, 33,5 dan 40.5 mm. Gambar silinder bersirip berikut probe dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Silinder bersirip tunggal



Gambar 3. Sisten Amplifier si Data

Sebuah gambar skematik pada gambar 3 memperlihatkan detail sitem akusisi data yang digunakan. Sebuah "mercury slipringless transmitter" menghubungkan antara bagian bergerak dan bagian diam model tersebut untuk meneruskan data sinyal yang diperoleh dari pengukuran.

Arus listrik dari hasil pengukuran pertama kali di perbesar oleh sebuah amplifier dan diubah menjadi besaran tegangan (volt). Kemudian tegangan keluaran didigitalisasi oleh sebuah 12 bit A/D dan direkam oleh sebuah personal komputer. Sebuah "photo cell" digunakan untuk menentukan awal referensi putaran dan untuk menentukan kecepatan putar. Masing-masing probe mengukur 120 sampel untuk setiap putarandengan waktu pengambil sampel yang sama. Masing-masing percobaan mengambil sampel rata-rata 1000 periode/putaran.

4. Kondisi Percobaan

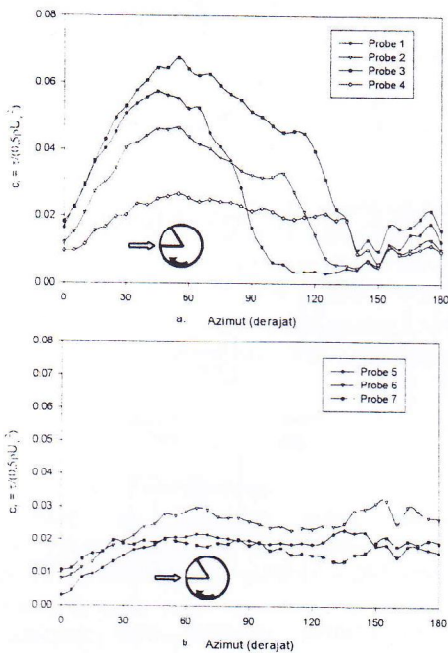
Percobaan ini mula-mula dilakukan untuk silinder bersirip diam dengan aliran silang. Kondisi eksperimen ini meliputi Re_∞ 17000, 51000 dan 85000

5. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4. memperlihatkan koefisien friksi lokal silinder berfin pada aliran silang dengan $Re_\infty = 17000$ dan $Re_\omega = 0$. Koefisien friksi dihitung dengan persamaan (6) sebagai berikut:

$$C_f = \frac{\tau_w}{0.5 \cdot \rho \cdot U_\infty^2} \quad (6)$$

Gambar 4.a memperlihatkan distribusi koefisien friksi yang diukur oleh probe 1, 2, 3 dan 4,

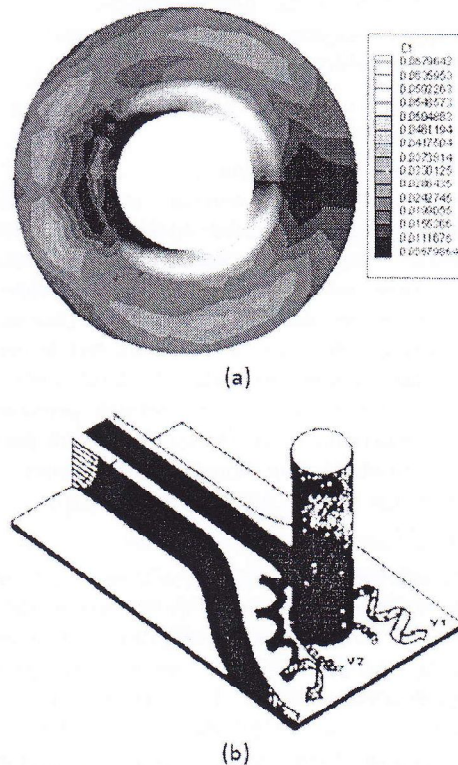


Gambar 4. Koefisien gesek lokal silinder bersirip untuk $Re_\infty = 17000$ dan $Re_\omega = 0$

sedangkan gambar 4b memperlihatkan koefisien friksi yang diukur oleh probe 5, 6 dan 7. Dari gambar tersebut terlihat, bahwa koefisien friksi yang diukur probe 1, 2 dan 3 lebih tinggi dari pada koefisien yang diukur oleh probe lainnya. Hal ini disebabkan probe 1, 2 dan 3 mengukur koefisien friksi, dimana "horseshoe vortex" terjadi. Fenomena ini telah ditemukan oleh peneliti lain dengan metoda yang berbeda. Salah satu peneliti yang telah menemukan ini adalah Goldstein dan Karni (tuliskan pustaka). Mereka menemukan fenomena ini dengan menggunakan metoda sublimasi naphthalene. Distribusi koefisien friksi ini dapat dipresentasikan dengan sebuah kontur dua dimensi. Gambar kontur tersebut dapat dilihat pada gambar 5a. Vortex V1 pada gambar tersebut diwakili oleh harga koefisien friksi yang tinggi, dimana digambarkan sebagai bagian di daerah pertemuan sirip dan silinder yang berwarna putih. Hal ini dapat dibandingkan dengan hasil yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Gambar 4b menunjukkan vortex V1, V2 dan V3 yang terjadi karena adanya penghalang silinder di plat datar. V1 terjadi di permukaan plat/sirip, sedangkan V2 dan V3 terjadi di permukaan silinder. Aliran tersebut diperoleh dengan menggunakan metoda sublimasi naphthalene.

Pada penelitian ini hanya vortex V1 yang dapat ditunjukkan, sebab probe polarography hanya dipasang di permukaan sirip. Dari gambar 5a dan 5b

dapat diambil kesimpulan, bahwa analogi perpindahan momentum, panas, dan massa berlaku untuk konfigurasi ini.



Gambar 5. a). Kontur koefisien friksi pada silinder bersirip, b). Aliran vortex yang terbentuk karena adanya penghalang yang berupa silinder pada plat datar.

Gambar 5a menunjukkan koefisien friksi pada 0° mempunyai harga yang rendah, sebab pada daerah ini terjadi titik separasi. Lapisan batas yang mengalami separasi ini akan membentuk aliran vortex V1, V2 dan V3 [1,4]

Harga koefisien friksi naik secara tajam pada probe 1, 2, 3 dan 4 setelah aliran mengalami separasi gelembung pada 0° . Kemudian mencapai maksimum di sudut $45^\circ, 50^\circ, 55^\circ$ dan 55° untuk masing-masing probe tersebut. Setelah titik tersebut koefisien friksi menurun secara tajam dan naik lagi menuju harga maksimum yang kedua. Harga maksimum ini terjadi pada $65^\circ, 105^\circ, 115^\circ$ dan 135° untuk probe 1, 2, 3 dan 4. Diantara kedua harga maksimal ini terbentuk semacam cekungan, hal ini disebabkan oleh interaksi antara aliran di permukaan sirip dan aliran vortex yang terbentuk dibelakang silinder.

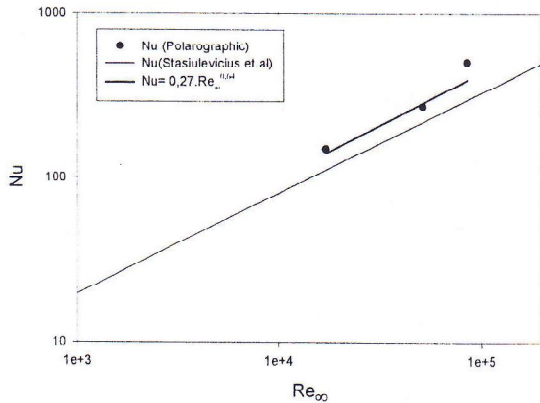
Kemudian harga koefisien friksi menurun secara tajam di daerah "tube wake". Secara umum didaerah "wake" harga koefisien friksi rendah.

Harga koefisien friksi yang diukur oleh probe 4, 5, 6 dan 7 mempunyai harga yang rendah. Hal ini menunjukkan, bahwa "horseshoe vortex" tidak terjadi pada daerah ini. Fenomena yang menarik adalah didaerah 0° . Harga koefisien friksi pada probe 7 lebih tinggi dibandingkan dengan harga koefisien friksi pada

probe 5 dan 6. Hal ini disebabkan oleh adanya "entrance effect" di daerah ini. Efek ini semakin menurun dengan bertambahnya azimuth (posisi sudut).

Harga Nu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut [13]:

$$Nu = \frac{\frac{1}{2} Re_{\infty} \cdot Pr \cdot C_f}{1 + 5 \sqrt{\frac{1}{2} C_f} \left\{ (Pr-1) + \ln \left[1 + \frac{5}{6} (Pr-1) \right] \right\}} \quad (7)$$



Gambar 6. Nu rata-rata fungsi dari Re_{∞} untuk silinder bersirip tunggal dan banyak.

Nu yang diperoleh dari persamaan (7) adalah merupakan harga Nu lokal. Untuk memperoleh harga Nu rata-rata, maka Nu lokal dihitung dengan menggunakan persamaan (8) [9,10,11]:

$$\overline{Nu} = \frac{\sum_{j=1}^{j=72} \sum_{i=1}^{i=72} Nu_{ij} \cdot A_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=72} \sum_{i=1}^{i=72} A_{ij}} \quad (8)$$

Harga rata-rata Nu diplotkan terhadap Re_{∞} dapat dilihat pada gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan Nu rata-rata dengan menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8), dan hasil penelitian silinder bersirip banyak yang telah dilakukan oleh Stasiulevicius [13]. Nu rata-rata untuk silinder bersirip tunggal lebih tinggi dibandingkan Nu rata-rata bersirip banyak, sebab terbentuknya V1 untuk silinder bersirip tunggal lebih leluasa/ tanpa terganggu keberadaan sirip didekatnya. Hal ini telah dibuktikan oleh banyak peneliti, bahwa semakin dekat jarak antara sirip akan menurunkan harga perpindahan panasnya. Apabila jarak tersebut terlalu kecil, maka aliran vortex V1 tidak akan terbentuk dan perpindahan panas rata-ratanya sangat rendah. Hubungan Nu rata-rata dan Re_{∞} dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\overline{Nu} = 0.27 \cdot Re_{\infty}^{0.64} \quad (9)$$

6. Kesimpulan

1. Koefisien friksi tertinggi terjadi di daerah pertemuan antara Fin-silinder. Hal ini disebabkan, karena di

daerah tersebut terbentuk "horseshoe vortex" V1. Dengan menggunakan metoda polarography, tiga daerah penting di fin dapat ditentukan. Daerah tersebut adalah daerah lapisan batas, daerah "horseshoe vortex" dan daerah wake.

2. Perpindahan panas ditentukan dengan menggunakan analogi Reynolds. Perpindahan panas maksimum terjadi juga pada daerah "horseshoe vortex".

3. Hubungan antara perpindahan panas dan koefisien friksi dan perpindahan panas adalah sebagai berikut:

$$\overline{Nu} = 0.27 \cdot Re_{\infty}^{0.64}$$

7. Daftar Pustaka

1. Ballio, F., Bettoni, C. and Franzetti, S., (1998), A survey of time-averaged characteristics of laminar and turbulent horseshoe vortices, *Journal of Fluids Engineering*, **120**, 233-242.
2. Chiang, C. and Eaton, J.K., (1996), An experimental study of the effects of three-dimensionality on the near wall turbulence structures using flow visualization, *Experiments in Fluids*, **20**, 266-272.
3. Goldstein, R.J. and Karni, (1984), J., The effect of a wall boundary layer on local mass transfer from a cylinder in crossflow, *Journal of Heat Transfer*, **106**, 105-106.
4. Hanratty, T.J. and Campbell, J.A., (1983), Measurement of wall shear stress. In Fluid Mechanics Measurements, Goldstein, R.J., Editor, Hemisphere, Washington, DC.
5. Kays, W.M., Bjorklund, I.S., (1958), Stanford and Calif, Heat transfer from a rotating cylinder with and without crossflow, *Transaction of The ASME*.
6. Kreith, F., Taylor, J.H., and Chong, J.P., (1985), Heat and Mass Transfer from a rotating disk, *Journal of Heat Transfer*, **11**, 526-535.
7. Schlichting, H., (1960), Boundary layer theory, 6th, McGraw-Hill, New York, 253-305.
8. Schmidt, Th.E., (1963), Der Wärmeübergang an Rippenrohren und die Berechnung von Rohrbündel-Wärmeaustauschern, *Kältetechnik*, **15**, Heft 12, 156-172.
9. Schüz, G. and Kottke, V. (1995), Visualization of flow, heat and mass transfer on finned tubes in cross flow, *Journal of Heat Transfer*, **117**, 338-344.
10. Sparrow, E.M. and Chastain, S.R., (1986), Effect of angle of attack on the heat transfer coefficient for an annular fin, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **29**, No.8, 1185-1191.
11. Stasiulevicius, J., Skrinka, A. and Žukauskas, A., (1998), Heat transfer of finned tube bundles in crossflow, Hemisphere Publishing Corporation, 178-215.