

PREDIKSI KOEFISIEN PERPINDAHAN PANAS DENGAN ANALOGI PERPINDAHAN PANAS- MASSA UNTUK BERBAGAI BENTUK BENDA

PREDICTION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT
USING HEAT-MASS TRANSFER ANALOGY
FOR VARIOUS BODIES SHAPE

I Gede Bawa Susana¹, Purnomo²

Program Studi Teknik Mesin
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Prediction of heat transfer with heat and mass transfer analogy was done by considering the fact that direct heat transfer prediction has difficulties with thermocouple installation system. This research was intended to develop h and h_D formulations for various bodies shape and orientation. The results of this research will be compared with Nu-Re correlation for spheres.

This research used naphthalene that was molded to cylindrical, cubical and baulk like forms. The specimens were put in a wind tunnel, and examined at various positions, sizes, and air velocities. The weight reductions of the specimens were used to calculate the coefficient of mass transfer. The coefficient of heat transfer was estimated from the mass transfer coefficient.

The results of the measurement indicated a very close relation to the Nu-Re correlation for spheres. It proved that the realibility of the mass-heat transfer analogy method used in the research was good.

Keyword : *heat-mass transfer, naphthalene, sphere, and Nu-Re*

PENGANTAR

Penentuan koefisien perpindahan panas dengan pengukuran suhu dan laju perpindahan panas tidak selamanya mudah dilakukan.

¹ Fakultas Teknik Universitas Mataram, NTB

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Masalah yang sering ditimbulkan adalah pemasangan termokopel pada permukaan agar diperoleh pembacaan suhu rata-rata. Selain sulit memasangnya, jumlah termokopel yang diperlukan banyak. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan metoda analogi perpindahan panas dan massa untuk mencari koefisien perpindahan panas, dengan menggunakan benda berbentuk silinder, kubus dan balok untuk variasi posisi, kecepatan udara dan ukuran. Hasil penentuan koefisien perpindahan panas dibuat dalam bentuk grafik Nu terhadap Re dan dibandingkan dengan persamaan bola.

Manfaat metoda analogi ini berawal dari uraian Rhine dan Tucker (1991) yang menggunakan metoda analogi ini untuk memperoleh koefisien perpindahan panas pada alat pembakar (*burner*). Dari data yang diperoleh dapat diperlihatkan bahwa hasilnya cukup baik walaupun persyaratan similaritas tidak semuanya dipenuhi. Menurut Rhine dan Tucker (1991), penyimpangan hasil tidak besar kalau bilangan Schmidt lebih besar dari satu dan hasil pengukurannya mendekati hasil *hot model*. Selanjutnya ditunjukkan untuk bilangan Prandtl 0,7 dan bilangan Schmidt 2,44 dan 1500, data mengelompok dalam batas-batas ketelitian yang masih dapat diterima. Kenyataan inilah yang mendorong peneliti untuk mengembangkan metoda analogi ini, yang tidak memerlukan termokopel untuk mengukur suhu, sehingga kesulitan pemasangan termokopel dapat dihindari. Bahan yang umum dipergunakan untuk membuat benda uji adalah *naphthalene* (kapurbarus), yang dicetak untuk berbagai bentuk benda. *Naphthalene* mengalami sublimasi di udara dan kecepatan penguapannya tidak terlalu tinggi sehingga memungkinkan pengukuran berat yang cukup teliti.

Penelitian tentang perpindahan panas juga dilakukan oleh Ahmed dkk., (1994) pada perpindahan panas konveksi paksa dari bentuk bola isothermal untuk $0 \leq Pr \leq \infty$. Cho dkk., (1992) melakukan penelitian menggunakan teknik sublimasi *naphthalene* untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas dalam aliran konveksi dengan mengukur koefisien perpindahan massa. Penelitian yang menggunakan analogi perpindahan panas dan massa pada aliran sekeliling sebuah silinder yang dibuat dari *naphthalene* dengan mengukur uap *naphthalene* yang mengalami difusi ke udara dilakukan dalam sebuah *wind tunnel* oleh Lewis (1971).

Pada persoalan perpindahan panas dan massa dalam aliran udara dari suatu bola, rumus empiris yang dapat ditemukan dalam literatur, salah satunya. (Drake dan Backer, 1952) adalah :

$$N_u = 2.0 + 0.459Re^{0.55}Pr^{0.333} \quad (1)$$

Hal ini berlaku untuk $Pr = 0,71$ dan Re adalah $0,1-200000$.

Chilton dan Colburn (1934) memberikan hubungan antara koefisien perpindahan panas (h) dan perpindahan massa (h_D)

$$StPr^{2/3} = St_D Sc^{2/3} \quad (2)$$

Hubungan ini berlaku apabila persyaratan similaritas dipenuhi, yang meliputi : 1) bentuk geometri sama, 2) angka Reynolds sama, 3) difusivitas molekular perpindahan panas dan massa sama, 4) difusivitas turbulen perpindahan panas dan massa sama, dan 5) kondisi batas sama dan *fluk* perpindahan panas dan massa sama melalui daerah aliran.

Dalam penelitian ini persyaratan similaritas yang mudah dipenuhi hanya 1) dan 2). Walaupun tidak semua persyaratan similaritas dapat dipenuhi, Rhine dan Tucker (1991) menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas yang dapat dipertanggungjawabkan. Laju perpindahan massa dapat dihitung dari perbandingan pengurangan berat dan waktu pengujian

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{t} \quad (3)$$

Tekanan uap *naphthalene* adalah tergantung pada temperatur dan Sherwood dan Bryant (1957) menyatakan

$$\text{Log}(p) = 11,55 - \frac{3765}{T} \quad (4)$$

Bilangan Schmidt *naphthalene* (Sherwood dkk., 1960) dihitung dengan :

$$Sc = 7T^{-0,185} \quad (5)$$

Koefisien perpindahan massa h_D dapat dinyatakan dengan :

$$h_D = \frac{\dot{m}.R.T}{\Delta P.A.M_N} \quad (6)$$

Dari persamaan (2) didapat suatu hubungan h dan h_D

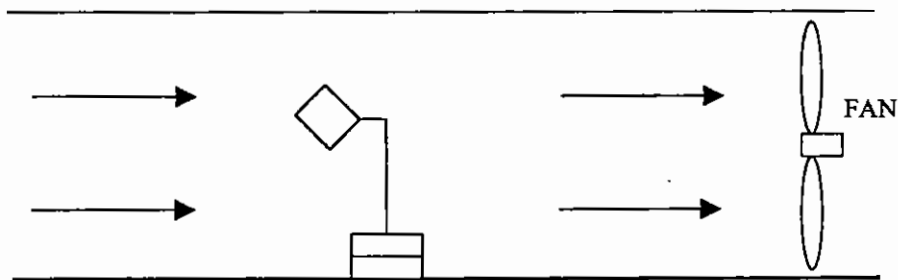
$$h = h_D Cp \rho (Sc/Pr)^{2/3} \quad (7)$$

Dalam penelitian ini, bentuk benda tidak teratur. Oleh karena itu, D yang digunakan adalah diameter bola yang mempunyai luas permukaan sama dengan luas permukaan benda yang diteliti.

CARA PENELITIAN

Dalam penelitian ini diperlukan *naphthalene* (kapurbarus) dalam jumlah yang banyak. Kapurbarus (*naphthalene*) dicetak menjadi benda berbentuk silinder, kubus, dan balok. Kapurbarus yang digunakan adalah kapurbarus yang banyak dijual dipasaran sebagai pewangi lemari pakaian. Dari penelitian ini diharapkan bahwa metoda yang mudah dan murah ini dapat digunakan dengan hasil yang dapat dipercaya.

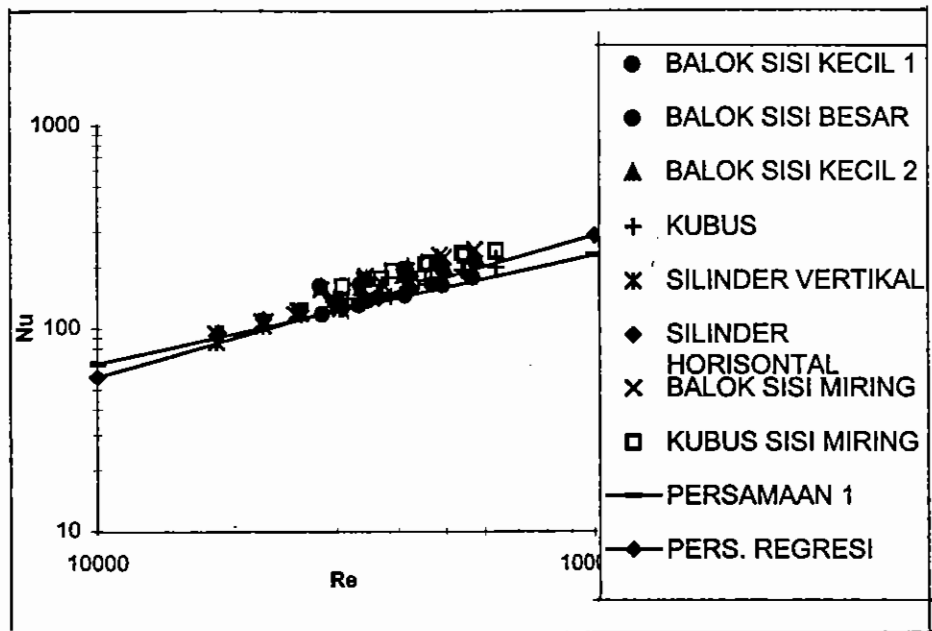
Pengujian berbagai bentuk benda dilakukan pada sebuah terowongan angin (*low speed wind tunnel*), dengan benda uji diletakkan di dalam lorong udara dan udara dihembuskan dengan kecepatan rendah untuk selang waktu tertentu (gambar 1.). Suhu dan kecepatan udara dicatat, benda uji ditimbang sebelum dan sesudah percobaan, sehingga pengurangan berat dapat dihitung. Hasil pengurangan berat digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan massa h_D , menggunakan persamaan (6).



Gambar 1. Skema pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

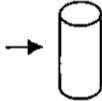

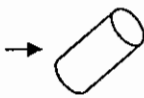
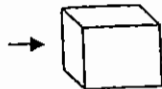
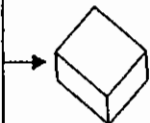
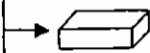
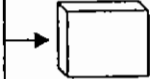


Hasil pengukuran koefisien perpindahan panas pada benda yang berbentuk silinder, kubus, dan balok metoda analogi perpindahan massa, memberikan hasil cukup baik, seperti ditunjukkan pada gambar 2. Data pengukuran berada disekitar garis yang mewakili persamaan (1) dan persamaan regresi. Gambar 2. merupakan pembuktian ulang yang menunjukkan bahwa metoda analogi ini cukup baik dan membuktikan kebenaran pendekatan dengan analogi perpindahan massa seperti ditunjukkan oleh Rhine dan Tucker (1991).



Gambar 2. Kesesuaian hasil pengukuran bentuk partikel silinder, kubus dan balok dengan persamaan 1 dan persamaan regresi

Hal lain yang mendukung bahwa penggunaan metoda analogi perpindahan massa dalam penelitian ini cukup baik, adalah dari penyimpangan nilai Nu penelitian terhadap Nu persamaan (1) lebih kecil dari yang disarankan oleh Witte (1968) sebesar 50%. Nilai penyimpangan Nu penelitian maksimum terhadap Nu persamaan (1) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Penyimpangan nilai Nu penelitian maksimum terhadap Nu persamaan pada benda berbentuk silinder, kubus, dan balok.

No.	Nama Benda	Posisi	Penyimpangan	Characteristic Length	Witte (1968)
1	Silinder Vertikal		16,84%	Diameter "equivalent bola", yaitu bola dengan luas permukaan sama dengan luas permukaan partikel	50 %
2	Silinder Horizontal 1		13,51 %		
3	Silinder Vertikal (diputar)		24,10 %		
4	Kubus		23,01%		
5	Kubus Sisi Miring		43,09%		
6	Balok Sisi Kecil 1		40,02%		
7	Balok Sisi Kecil 2		41,33%		
8	Balok Sisi Besar		8,18%		
9	Balok Sisi Miring		46,97%		

Penyimpangan nilai Nu penelitian terhadap Nu persamaan yang berbeda bentuk bendanya seperti pada tabel 1. di atas, diakibatkan oleh pengaruh pola aliran terhadap variasi posisi dan ukuran benda uji. Secara umum untuk variasi ukuran berlaku, bahwa pada benda uji yang mempunyai luas permukaan lebih luas untuk kecepatan udara sama, mempunyai penyimpangan yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh kehilangan massa yang lebih besar akibat sublimasi naphthalene, sehingga akan meningkatkan koefisien perpindahan massa dan panas, yang menyebabkan bilangan Nu penelitian juga meningkat. Untuk variasi posisi berlaku, bahwa untuk benda uji yang mempunyai permukaan tegak lurus dengan aliran udara yang lebih besar, mempunyai penyimpangan nilai Nu yang lebih kecil, akibat pengaruh hambatan terhadap aliran udara yang besar sehingga akan berpengaruh terhadap kehilangan massa yang kecil. Hal ini mengakibatkan penurunan pada koefisien perpindahan massa dan panasnya, sehingga bilangan Nu juga kecil.

KESIMPULAN

Secara singkat hasil penelitian koefisien perpindahan panas dan massa dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan metoda analogi perpindahan panas dan massa untuk mencari koefisien perpindahan panas telah dibuktikan dapat digunakan. Hal ini dapat ditunjukkan dari penyimpangan nilai Nu penelitian terhadap Nu persamaan (1) masih dalam batas yang disarankan oleh Witte (1968) sebesar 50%.

2. Berdasar butir (1), dengan panjang karakteristik diameter bola yang mempunyai luas permukaan sama dengan luas permukaan bentuk benda uji yang diteliti, selain mempergunakan formulasi Drake dan Backer (1952), persamaan regresi juga dapat dipakai. Persamaan regresi itu adalah $Nu = 0,0995Re^{0,7932}$, dan berlaku untuk angka $Pr = 0,71$ (udara), $Sc = 2,43$, $Re = 17149-63226$ dan $Nu = 85-246$.

3. Secara umum, diperoleh keyakinan bahwa metoda analogi perpindahan massa dapat digunakan untuk penelitian perpindahan panas konveksi dengan udara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ketua Laboratorium Aerodinamika atas ijin penggunaan *low speed wind tunnel* dan Ketua Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UGM beserta para staf dan teknisi atas segala bantuannya, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

ARTI LAMBANG

- A luas selimut benda uji (m^2)
- C_p panas jenis berdasar temperatur percobaan ($J Kg^{-1} K^{-1}$)
- D diameter ekuivalen (m)
- h_D koefisien perpindahan massa ($m s^{-1}$)
- h koefisien perpindahan panas ($W m^{-2} K^{-1}$)
- j faktor-j Chilton-Colburn untuk perpindahan panas
- j_D faktor-j Chilton-Colburn untuk perpindahan massa
- k konduktivitas panas ($W m^{-1} K^{-1}$)
- \dot{m} laju perpindahan massa ($Kg s^{-1}$)
- P tekanan uap jenuh kapurbarus ($N m^{-2}$)
- R konstanta gas universal ($=8314 N m Kgmol^{-1} K^{-1}$)
- T temperatur (K)
- t waktu (detik)
- V kecepatan aliran udara ($m s^{-1}$)
- ρ massa jenis ($Kg m^{-3}$)
- μ viskositas dinamik ($Kg m^{-1} s^{-1}$)
- Re bilangan Reynolds
- Nu bilangan Nusselt
- Pr bilangan Prandtl
- Sc bilangan Schmidt
- St bilangan Stanton untuk perpindahan panas
- St_D bilangan Stanton untuk perpindahan massa
- M_N berat molekul naphthalene ($C_{10}H_8$)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Refai, G., dan Yovanovich, MM., 1994, "Approximate Analytical Solution of Forced Convection Heat Transfer From Isothermal Spheres for All Prandtl Numbers", *Journal of Heat Transfer*, 116 : 838-843.
- Cho, K., Irvine, T.F., dan Karni, J., 1992, "Measurement of the diffusion coefficients of naphthalene into air", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 35: 957-966.
- Chilton, T.H., dan Colburn, A.P., 1934, "Mass transfer (absorption) coefficient", *Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 1183-1187.
- Drake, R.M., dan Backer, G.H., 1952, "Heat Transfer From Spheres to a Rarefied Gas in Supersonic Flow", *Trans. ASME*, 74 : 1241-1249.
- Lewis, J.S., 1971, "Heat Transfer Prediction from Mass Transfer Measurements Around a Single Cylinder in Cross Flow", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 14 : 325-329.
- Rhine, J.M., dan Tucker, R.J., 1991, *Modeling of Gas Fired Furnaced and Boilers*, ed:1, McGraw Hill Book Co., London.
- Sherwood, T.K., dan Bryant, Jr., H.S., 1957, "Mass Transfer through Compressible Turbulent Boundary Layers", *Can. J. Chem. Engng*, 35 : 51-57.
- Sherwood, T.K., dan O. Trass, 1960, "Sublimation Mass transfer through Compressible Layers on a Flat Plate", *Trans. Of the ASME, J. Heat Transfer*, 81 : 313-325.
- Witte, L.C., 1968, "An Experimental Study of Forced Convection Heat Transfer From a Sphere to Liquid Sodium", *ASME Journal of Heat Transfer*, 90 : 9-12.