

PENGARUH JARAK SUMBER JET TERHADAP TEMPERATUR DINDING SELINDER

Kaprawi ⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unsri
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km.32 Inderalaya 30662
E-mail : kaprawis@yahoo.com

Ringkasan

Aliran jet bebas yang keluar dari plat orifis segiempat dengan temperatur lebih tinggi dari temperatur sekeliling menabrak sebuah selinder maka temperatur dinding selinder akan naik. Hasil pengukuran temperatur pada sekeliling selinder menunjukkan bahwa terjadi gradien temperatur yang kecil pada selinder bila selinder jauh dari sumber jet. Pada jarak yang dekat dari sumber jet maka gradien terbesar terjadi pada daerah bagian depan selinder. Sedangkan pada bagian belakang selinder, mulai dari daerah separasi, gradien temperatur lebih kecil. Selain itu semakin lebar penampang orifis maka semakin turun temperatur pada dinding selinder.

Abstract

Free jet flow coming out from a rectangulaire orifice has temperature higher than than the ambient. This flow attack a cilynder so the wall temperature of cilynder will increase. The results show that the small temperature gradient at cilynder wall occur when the cilynder is palced far from the orifice. Near the orifice or jet source so great temperature gradient occur at the front wall of the cilynder. While at the back wall, starting from the separasion region, the temperature gradient is not high. The wider of orifice cross section the smaller temperature of waal cilynder.

Key words : orifice, jet flow, temperature, cilynder

1. PENDAHULUAN

Fluida keluar dari nosel atau orifis berupa aliran jet akibat perubahan tekanan secara tiba-tiba sering dijumpai di dalam bidang teknik seperti jet penyemprot bahan bakar dalam suatu pembakaran. Bentuk nosel atau orifis dimana sumber aliran jet pada umumnya berpenampang lingkaran sehingga aliran jet yang keluar adalah aksisimetri. Selain itu ada juga aliran jet plane (plane jet) yaitu bentuk penampang orifis segiempat dimana salah satu lebar sisinya jauh lebih besar dari sisi lainnya.

Fluida aliran jet bisa cair atau gas dan apabila cair maka ketika keluar dari nosel maka ia berubah menjadi butiran-butiran halus (atomisasi) yang berukuran beberapa mikron. Besar ukuran butiran ini tergantung dari tekanan aliran sebelum keluar nosel.

Aliran jet plane dalam bidang teknik bisa ditimbulkan dalam heat exchanger. Jarak antara tube-tube yang sejajar dapat menimbulkan perubahan tekanan yang besar sehingga bisa menimbulkan aliran jet. Hal ini dapat dijumpai pada heat exchanger dimana tube disusun secara staggered. Aliran datang pertama kali menabrak tube bertekanan tinggi dan keluar dari baris pertama dari tube bisa menimbulkan aliran jet untuk menabrak tube pada baris kedua.

Profil kecepatan aliran jet adalah parabol yang mana kecepatan maksimum terjadi pada tengah jet sepanjang jarak aksial dari jet. Untuk plane jet Pada daerah self-preserving, kecepatan aksial pada suatu titik u terhadap kecepatan maksimum pada tengah jet u_m adalah fungsi dari koordinat tak berdimensi y/x atau ditulis :

$$u/u_m = f(y/x) \quad \text{.....(1)}$$

dimana y adalah jarak dari tengah kearah radial dan x adalah jarak dari sumber jet ke arah aksial. Pada tengah jet $y = 0$, kecepatan aksial maksimum adalah u_m . Kecepatan maksimum berbanding terbalik dengan jarak aksial x :

$$u_m u_o = c.A_o^{1/2}/x \quad \text{.....(2)}$$

dimana A_o adalah luas penampang orifis atau nosel.

Distribusi kecepatan aliran jet diberikan oleh persamaan Navier-Stokes untuk plane jet dalam koordinat Kartesius sebagai berikut :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \text{.....(3)}$$

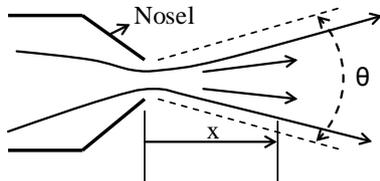
dan persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Dimana u dan v adalah kecepatan masing-masing dalam arah x dan y . Profil kecepatan u pada suatu jarak x (gambar 1) dari orifis diberikan persamaan berikut :

$$u = \frac{3J}{8\pi\mu x} \left(1 + \frac{c^2\eta^2}{4}\right)^{-2} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana J adalah momentum, c adalah konstanta dan η adalah variabel tak-berdimensi dari y .



Gambar 1 : aliran jet bebas

Jenis aliran jet dikarakteristikan dengan angka Reynolds, aliran akan laminar bila $Re \leq 2000$ dan turbulen bila $Re \geq 3000$. persamaan lapisan batas (persamaan 3) dapat diubah ke bentuk tak berdimensi dengan menggunakan variabel berikut :

$$x^+ = \frac{x}{L}, \quad y^+ = \frac{y}{L} \sqrt{Re}, \quad u^+ = \frac{u}{U_o},$$

$$Re = \frac{U_o L}{\nu}$$

Diana L adalah panjang karakteristik. U_o kecepatan pada sumber jet, y adalah jarak dalam arah radial dan u kecepatan arah aksial.

Distribusi temperatur suatu aliran dalam lapisan batas diberikan oleh persamaan termal berikut :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \dots\dots\dots(5)$$

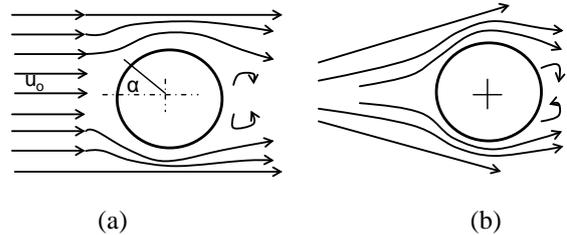
Persamaan lapisan batas (3) dan (5) telah diselesaikan secara numerik oleh banyak penulis untuk aplikasi dalam aliran fluida. Seluruh penulis merubah variable-variabel dalam persamaan tersebut kedalam variable tak berdimensi baik untuk variable hidrodinamik maupun termal. Pada umumnya, untuk temperatur, variabel tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$T^+ = \frac{T - T_s}{T_\infty - T_s}$$

Sesungguhnya variabel tak-berdimensi dari temperatur seperti diatas dapat berubah tergantung dari bidang atau fluida pemanas.

Aliran fluida disekeliling suatu selinder diakibatkan oleh aliran datang ditunjukkan oleh gambar 2. Aliran datang yang seragam dengan kecepatan u_o (gambar 2a) akan dibelokkan ke sekeliling selinder. Dalam hal ini luasan daerah aliran datang mengenai selinder

sangat besar, sedangkan untuk luasan aliran datang kecil ditunjukkan oleh gambar 2b. Untuk luasan aliran yang yang kecil, hal ini dapat berupa aliran jet. Lapisan batas hidrodinamik akan terbentuk sekeliling dinding selinder, begitu pula dengan lapisan batas termal apabila salah satu fluida atau selinder mempunyai temperatur lebih tinggi.



Gambar 2 : Aliran sekeliling selinder

Mulai dari titik stagnasi, tekanan menurun dengan bertambahnya x , dengan x koordinat searah garis aliran, dan lapisan batas berkembang dibawah pengaruh gradien tekanan negatif. Tekanan akan minimum kearah belakang selinder dan lapisan batas masih berkembang dalam daerah gradien tekanan positif. Pada titik stagnasi kecepatan akan nol, kemudian fluida bertambah kecepatan karena gradien tekanan negatif, mencapai kecepatan maksimum bila gradien tekanan sama dengan nol dan kemudian kecepatan turun ($dU/dx < 0$) karena gradien tekanan positif. Hal ini dapat dilihat dari persamaan Euler. Kecepatan semakin menurun dan pada suatu saat gradien kecepatan pada permukaan selinder $\partial u/\partial y|_{y=0}$ sama dengan nol. Pada posisi ini disebut titik separasi dan terjadi separasi lapisan batas. Pada kondisi ini, lapisan batas berpisah dengan dinding dan mulai terbentuk *wake* pada bagian belakang selinder. Di daerah ini, karakteristik aliran adalah *vortex* yang tidak beraturan.

Vortex ini dipengaruhi oleh angka Reynolds aliran. Titik separasi terjadi pada $\alpha = 81^\circ$ untuk $Re < 10^5$ untuk aliran laminar dan 110° sampai 120° untuk aliran turbulen $Re > 5 \times 10^5$. Perpindahan panas yang efektif terjadi sebagian besar pada dinding bagian depan selinder. Perpindahan panas akan lebih besar pada daerah tebal lapisan batas yang kecil. Perpindahan ini dinyatakan dengan bilangan Nusselt yang merupakan gradien temperatur pada dinding..

Beberapa eksperimen untuk variasi angka Nusselt dengan sudut α (gambar 2) untuk sebuah selinder dipasang melintang dalam aliran udara panas. Hasil menunjukkan bahwa hal tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi lapisan batas pada dinding selinder. Untuk aliran udara yang laminar ($Re \leq 10^5$), angka Nusselt menurun dengan kenaikan α dan kondisi minimum dicapai pada $\alpha \approx 80^\circ$ dimana terjadi separasi dan angka Nusselt naik dengan α setelah titik separasi. Untuk angka Reynolds yang rendah maka angka Nusselt cenderung lebih kecil dari pada di dinding selinder bagian depan.

Korelasi bisa didapat untuk angka Nusselt lokal dan di titik stagnasi untuk angka Prandtl $Pr \geq 0,6$ analisa

lapisan batas menghasilkan hubungan berikut :

$$Nu_D(\theta=0) = 1,15Re_D^{1/2}Pr^{1/3}$$

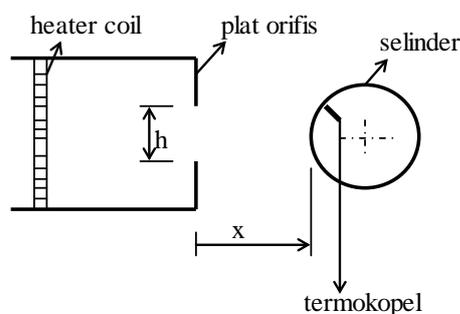
Antara dinding selinder dan fluida didekatnya terjadi keseimbangan termal dimana temperatur fluida sama dengan temperatur dinding. Profil temperatur untuk suatu *free jet flow* secara konveksi alamiah adalah berbentuk parabol dan profil ini identik dengan profil kecepatan yang mana temperatur bergerak mulai maksimum pada sumbu atau tengah jet dan nol pada arah radial yang jauh dari sumbu.

Gerak fluida dapat dibagi dalam daerah energi tinggi dan energi rendah (temperatur). Daerah perubahan energi ini adalah daerah separasi energi. Separasi energi jet terjadi lebih cepat pada daerah dekat dengan nosel apabila angka Reynolds tinggi. Separasi ini dipengaruhi oleh *vortex*.

Dari uraian diatas maka dalam studi ini diberikan tentang aliran jet bertemperatur lebih tinggi (udara dipanasi) dari ambient dan jet ini menabrak sebuah selinder atau tube dengan jarak yang bervariasi dari sumber jet. Temperatur pada dinding selinder diukur untuk mengetahui distribusinya terhadap jarak aksial dari nosel atau orifis. Selain itu diberikan pula studi bentuk distribusi temperatur dinding selinder yang mendapat aliran panas secara seragam dengan skema seperti gambar 2a. Hal ini perlu untuk diketahui, oleh karena perpindahan panas sangat berhubungan erat dengan temperatur pada dinding selinder.

2. METODE PENELITIAN

Skema peralatan pengujian diberikan oleh gambar 3. Udara yang keluar dari discharge blower akan menuju plat orifis. Kecepatan udara keluar dari plat orifis tersebut yaitu aliran jet. Udara sebelum keluar orifis terlebih dahulu dipanaskan dengan heater coil pemanas yang berjarak 300 mm sebelum orifis. Penampang orifis adalah segiempat dengan tinggi arak radial h dan arah transversal adalah L dengan $L = 110$ mm.



Gambar 3 : Skema alat uji

Selinder yang digunakan berupa sebuah tube dengan diameter luar $d = 31,7$ mm. Selinder dipasang pada jarak x dari orifis. Dinding selinder ditanamkan termokopel type K untuk mengukur temperatur sekeliling selinder.

Tinggi orifis h divariasikan besarnya yang dalam hal ini dari 20 sampai 40 mm dan jarak x divariasikan sehingga akan dapat diketahui pengaruh kedua variable tersebut kepada temperatur dinding selinder. Kecepatan udara saat keluar orifis bervariasi mulai dari 0,6 sampai 0,9 m/s sehingga aliran jet keluar adalah laminar atau $Re = 1400$ sampai 2100. Distribusi kecepatan keluar jet diukur dengan tabung Pitot.

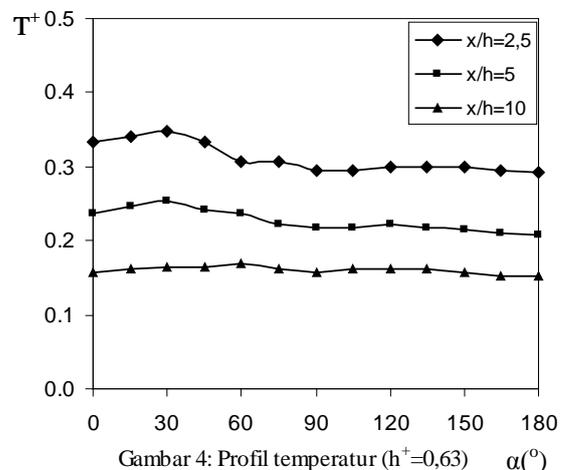
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan profil temperatur pada dinding selinder dengan $h^+ = h/d = 0,63$ untuk beberapa jarak x/h . Pada kondisi tinggi orifis ini maka kecepatan udara saat keluar orifis adalah $v_o = 0,82$ m/s. Variabel tak-berdimensi dari temperatur dihitung dengan :

$$T^+ = \frac{T - T_{atm}}{T_o - T_{atm}}$$

dimana T_o adalah temperatur pada sumber jet dan T_{atm} adalah temperatur atmosfer. Pada sumber jet $T^+ = 1$.

Dari gambar dapat dilihat untuk $x/h = 2,5$ bahwa mulai pada titik stagnasi ($\alpha = 0^\circ$) temperatur cenderung naik sampai $\alpha = 50^\circ$ dan kemudian turun setelah $\alpha > 50^\circ$ turun pada daerah $\alpha = 0^\circ$ sampai 70° temperatur lebih tinggi dari temperatur di daerah $\alpha > 70^\circ$. Pada daerah setelah titik separasi temperatur praktis konstan. Semakin naik jauh dari sumber jet maka temperatur pada dinding selinder semakin seragam dan pada $x/h = 10$ profil temperatur praktis sudah linier atau konstan. Profil kecepatan dan temperatur aliran datang ke dinding selinder adalah parabol sehingga temperatur udara datang mengenai selinder tidak seragam dimana ia akan maksimum pada tengah-tengah atau sumbu jet.

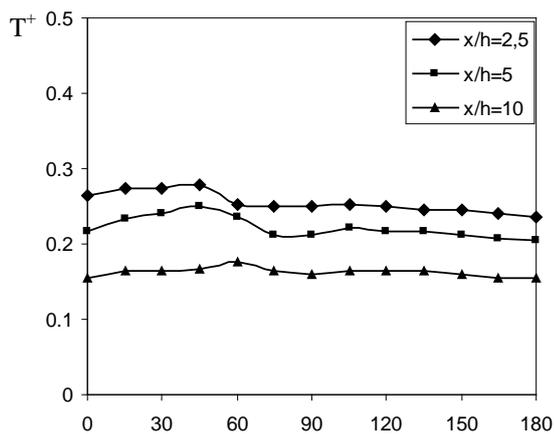


Gambar 4: Profil temperatur ($h^+=0,63$) α ($^\circ$)

Untuk tinggi orifis naik yaitu $h/d = 0,95$ profil temperatur diberikan oleh gambar 5. h/d naik maka kecepatan udara pada orifis turun oleh karena blower beroperasi pada kondisi konstan. Dari gambar dapat diamati bahwa profil temperatur masih identik seperti pada $h/d = 0,63$ namun nilainya mulai menurun. Pada

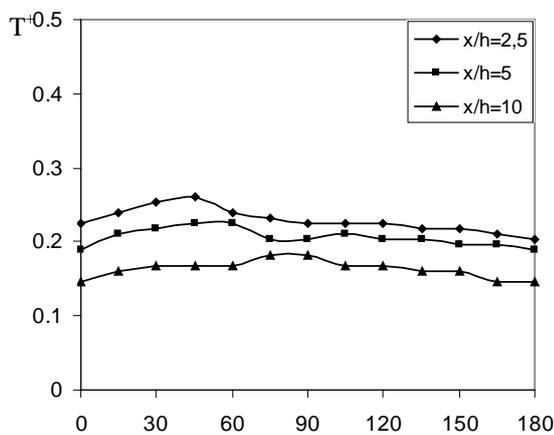
$x/h = 10$ temperatur dinding selinder sudah praktis konstan dan kecepatan udara serta temperatur pada daerah aliran jet ini sudah menurun secara signifikan. Untuk kecepatan dan temperatur, penurunan ini [4] adalah fungsi dari $x^{-1/3}$.

Gambar 5 menunjukkan profil temperatur untuk $h^+ = 0,95$ atau dengan kecepatan udara $v_o = 0,69$ m/s. Dapat kita lihat bahwa pada $x/h = 2,5$ dan 5 pada daerah $\theta = 0^\circ$ sampai 50° temperatur lebih tinggi dan setelah daerah tersebut temperatur praktis konstan. Untuk $x/h = 10$ maka temperatur sama pada dinding selinder. Pada daerah ini profil temperaur dan kecepatan dari aliran jet sudah menurun dan lebih merata dalam arah radial. Kondisi jet ini yang menabrak selinder. Pada kecepatan udara menurun, apabila dibandingkan dengan gambar 4 maka temperatur pada dinding selinder menurun.



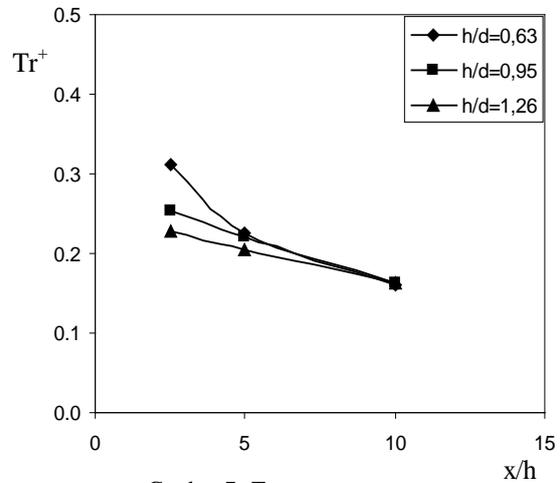
Gambar 5: Profil temperatur ($h^+=0,95$) $\alpha(^\circ)$

Untuk tinggi orifis yang lebih besar ($h^+ = 1,26$) atau ekuivalen dengan penurunan kecepatan pada orifis, profil temperatur masih identik namun besarnya yang berbeda (gambar 6). Pada kondisi dimana lebar tinggi orifis lebih besar maka luasan daerah yang terkena aliran jet lebih besar akan tetapi kecepatan dan temperatur lebih cepat menurun. Hal ini disebabkan lebih cepatnya perpindahan panas ke ambien.



Gambar 6: Profil temperatur ($h^+=1,26$) $\alpha(^\circ)$

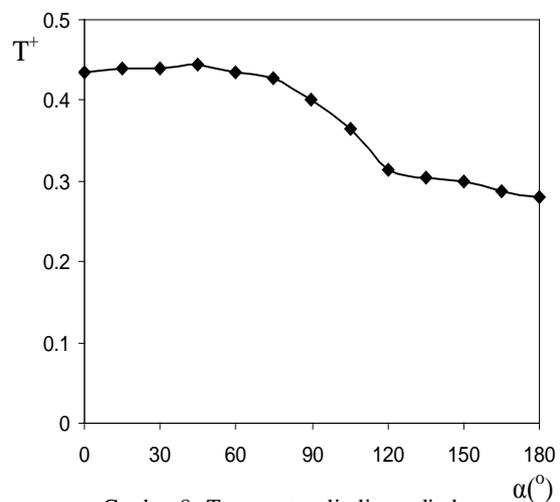
Pengaruh temperatur rata-rata pada dinding selinder terhadap jarak diberikan oleh gambar 7. Temperatur rata-rata berhubungan dengan perpindahan pada kedalam selinder atau tube. Pada daerah dekat dengan orifis maka temperatur rata-rata lebih tinggi bila selinder dipasang jauh dari orifis. Untuk $h/d = 0,63$ penurunan temperatur tidak secara linier terhadap jarak. Pada kondisi ini kecepatan udara lebih tinggi dan luasan daerah jet kecil sehingga semburan jet terkonsentrasi pada daerah yang sempit.



Gambar 7: Temperatur rata-rata

Bila $h/d = 0,95$ dan $1,26$ maka penurunan temperatur rata-rata secara linier atau gradient temperatur adalah konstan. Untuk $h/d = 0,95$ penurunan temperatur sebesar 13% sedangkan untuk $h/d = 1,26$ penurunannya sebesar 10%. Untuk $x/h = 10$, pengaruh kecepatan udara dan tinggi orifis tidak berpengaruh terhadap temperatur pada dinding selinder.

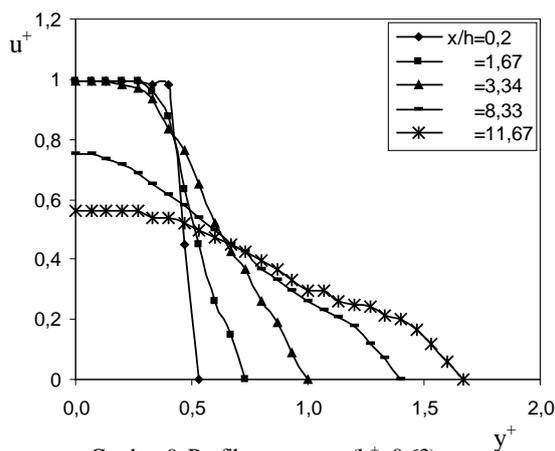
Hasil profil-profil temperatur diatas dapat dibandingkan dengan profil temperatur pada gambar 8 yang mana aliran seragam yang datang mengenai selinder pada daerah yang besar (gambar 2a). Dalam hal ini selinder dipasangi didalam saluran discharge blower dan pada ujung saluran keluar tidak ada orifis.



Gambar 8: Temperatur dinding selinder

Profil menunjukkan terjadi gradien temperatur yang signifikan antara dinding depan selinder dan belakang. Mulai dari $\alpha = 0^\circ$, temperatur naik dan kenaikan ini sangat kecil sampai $\alpha \approx 50^\circ$ dan dapat dianggap konstan, setelah itu temperatur turun cepat sampai $\alpha \approx 120^\circ$ dan selanjutnya turun dengan lambat. Gradien temperatur antara di depan dan belakang selinder cukup signifikan bila dibandingkan dengan gradien temperatur pada kondisi selinder menerima aliran jet yang mana kecepatan dan temperaturnya tidak seragam.

Gambar 9 memberikan profil kecepatan keluar jet bebas tanpa mengenai selinder di depannya. Sumbu $x = 0$ adalah kondisi pada tengah jet. Profil kecepatan yang berbeda ini yang mengenai/menabrak dinding selinder.



Gambar 9: Profil temperatur ($h^+=0,63$)

4. KESIMPULAN

Dari uraian diatas maka dapatla disimpulkan beberapa hal. Pada jarak yang dekat dengan sumber jet dan berapapun kecepatan udara maka profil temperatur akan lebih tinggi pada daerah sebelum titik separasi dan lebih rendah pada daerah setelah separasi. Semakin dekan maka semakin naik perbedaan tersebut. Pada jarak $x/h = 10$ maka tidak ada pengaruh dari jarak terhadap temperatur pada dinding selinder. Profil temperatur rata-rata pada dinding selinder bergerak secara tak linier bila tinggi orifis berubah dan penurunan yang linier diamati untuk $h/d = 0,95$ dan $1,26$. Profil kecepatan aliran datang mengenai selinder mempengaruhi distribusi temperatur selinder. Temperatur dinding selinder semakin naik bila kecepatan datang semakin naik.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Maged A. I. El-Shaarawi, Abdulghani Al-Farayedhi, Mohamed A. Antar (1997) , *Boundary Layer Flow About and Inside a Liquid Sphere*, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119. No.1.

[2]. J. Mi, GJ Nathan and DS Nobes, *Mixing Characteristic of Axisymmetric Free Jets From a Countoured Nozzle, an Orifice and a Pipe*, Journal of Fluids Engineering, vol. 123, p-878-883, 2001

[3]. Frank M. White (1991) , *Viscous Fluid Flow*, Second edition, McGraw-Hill, Singapore.

[4]. Robert D. Blevin (1984), *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand, New York.

[5]. W.S Seol, R.j Golstain, (1997), *Energy Separation in a Jet Flow*, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119. No.1. p. 74-82.

[6]. Kaprawi (2007), *Pengaruh Posisi Pipa Segiempat dalam Aliran Fluida Terhadap Perpindahan Panas*, Jurnal Teknik Mesin, vol.9, No.2, SK. 56/DIKTI/Kep/2005

[7]. Kaprawi (2007), *Lapisan Batas Aliran Disekitar Suatu selinder Miring*, Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, vol.17, No. 2, SK. 39/DIKTI/Kep/2004

[8]. Kaprawi (2006), *Pengaruh Turbo Cyclone Terhadap Lebar Penyebaran Aliran Jet*, Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 7, no. 1, ISSN. 1411-6553