

ISSN 1693-9425

# JURNAL TEKNOLOGI

(Journal of Technology)

JURNAL ILMU TEKNIK DAN SAINS

**Penanggung Jawab:**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Pattimura

**Penerbit:**

Fakultas Teknik  
Universitas Pattimura - Ambon

# **TEKNOLOGI**

*Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik dan Sains*  
*Volume 13. No 1 April 2016*

---

## **D a f t a r I s i**

<b>Analisis Getaran Pada Roller Cam Dual Tangensial Pompa Injeksi Bahan Bakar Motor Diesel Dengan Variasi Putaran.</b>	<b>Benjamin G. Tentua Apriandi Pulu</b>	<b>2124-2130</b>
<b>Laser Semikonduktor Gaas Jenis Double Heterojunction Sebagai Sumber Cahaya Dalam Komunikasi Optik</b>	<b>Samy J. Litololy</b>	<b>2131-2137</b>
<b>Design Dan Asesmen Karakteristik Model Francis Turbin Kecepatan Rendah</b>	<b>Wulfilla M. Rumaherang J. Louhenapessy A.I. Laboki</b>	<b>2138-2144</b>
<b>Studi Numerik Pengaruh Variasi Bilangan Reynolds Dan Bilangan Prandlt Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Dan Perpindahan Panas Melintasi Silinder Sirkular Tunggal</b>	<b>Cendy S.E Tupamahu</b>	<b>2145-2149</b>
<b>Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Keterlambatan Waktu Persediaan Material Pada Proyek Konstruksi Jalan Di Maluku</b>	<b>Felix Taihuttu Christy G. Buyang</b>	<b>2151-2155</b>
<b>Pengaruh Sifat Mekanis Kekuatan Tarik Fraksi Volume Komposit Serat Ijuk Aren Dengan Matriks Polyester</b>	<b>Arthur Y Leiwakabessy</b>	<b>2156-2159</b>

# STUDI NUMERIK PENGARUH VARIASI BILANGAN REYNOLDS DAN BILANGAN PRANDLT TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DAN PERPINDAHAN PANAS MELINTASI SILINDER SINGKULAR TUNGGAL

Cendy S.E Tupamahu

Universitas Pattimura, Fakultas Teknik-Teknik Mesin, Ambon, 97233, Indonesia  
e-mail: [tupamahucendy@gmail.com](mailto:tupamahucendy@gmail.com)

## Abstrak

Silinder sirkular merupakan bentuk yang sering digunakan dalam berbagai cabang teknologi modern saat ini. Bentuk yang melengkung serta aliran yang melintasi silinder merupakan konsep dasar yang digunakan dalam alat penukar panas. Selain pada alat penukar panas aplikasi silinder sirkular dapat ditemukan pada *air conditioning*, *cooling tower*, *cryogenic*, *refrigeration*, dll. Pada penelitian ini dikaji pengaruh bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada silinder sirkular tunggal. Variasi yang digunakan untuk simulasi dengan menggunakan dengan 3 variasi *Reynolds number* ( $Re_D$ ) yaitu 2, 25 dan 150 dan *Prandtl number* yakni udara (0.7). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi numerik, dengan menggunakan CFD Fluent 6.3.26 untuk memperoleh data yang berhubungan dengan profile aliran dan distribusi temperatur.

Pada aliran yang melintasi silinder sirkular tunggal bilangan Reynolds berpengaruh terhadap terjadinya separasi aliran dan memicu terbentuknya *velocity boundary layer*. Bilangan Prandtl berpengaruh terhadap *thermal boundary layer*. Nilai perpindahan panas saat aliran melewati silinder sirkular tunggal ditunjukkan dengan parameter *Nusselt number* lokal ( $N_{U\theta}$ ) dan *Nusselt number rata-rata* ( $\overline{N_{UD}}$ ) yang mana dipengaruhi oleh *Prandtl number* dan *Reynolds number*.

Kata kunci: Silinder sirkular tunggal, *Reynolds number*, *Prandtl number*, *Nusselt number lokal* ( $N_{U\theta}$ ), *Nusselt number rata-rata* ( $\overline{N_{UD}}$ ).

## I. PENDAHULUAN

Silinder sirkular merupakan bentuk yang sering digunakan dalam berbagai cabang teknologi modern saat ini. Bentuk yang melengkung serta aliran yang melintasi silinder merupakan konsep dasar yang digunakan dalam alat penukar panas. Selain pada alat penukar panas aplikasi silinder sirkular dapat ditemukan pada *air conditioning*, *cooling tower*, *cryogenic*, *refrigeration*, dll.

Profil aliran melintasi silinder sirkular memiliki karakteristik aliran yang didominasi oleh pengaruh bilangan Reynolds ( $Re_D = \rho V D / \mu$ ). Penelitian ini berkaitan dengan karakteristik aliran dan perpindahan panas pada silinder sirkular dengan range bilangan Reynolds 2, 25, dan 150. Dimana pada bilangan Reynolds tersebut akan terjadi fenomena yang dikenal dengan *Creeping Flow*, *attached Eddies*, dan *periodic vortex flow*.

fenomena *creeping flow*, *attached Eddies* dan *periodic vortex flow* mengarah pada proses perpindahan panas. Perpindahan panas pada silinder sirkular ditunjukkan pada naiknya nilai bilangan Nusselt yang merupakan parameter yang mengindikasikan terjadinya proses perpindahan panas. Nusselt number merupakan fungsi dari Reynolds number dan Prandtl number.

Penelitian mengenai aliran dan perpindahan panas telah banyak dilakukan, Zukauskas dan J. Ziugzda<sup>1</sup>, Reynolds number digunakan sebagai parameter untuk menggambarkan regime dari suatu aliran.  $Re < 1$  aliran yang terjadi didominasi oleh gaya viskos dan boundary layer pada dinding silinder tidak terjadi separasi. Sehingga aliran pada upstream dan downstream mendekati simetri dan tidak ada vortex shedding,  $3 < Re < 5$  terbentuk dua vortice,  $Re > 40$  wake menjadi unstable dan terdapat *vortex shedding* yang diawali oleh terbentuknya *vorticity* oleh adanya *adverse pressure gradient* dan gaya viskos. Pada  $150 < Re < 300$  *periodic vortex flow* dimana range aliran dari transisi menjadi aliran turbulen.

S. Sanitjait dan R.J. Goldstein<sup>2</sup> meneliti perpindahan panas secara konveksi paksa dari silinder sirkular dengan bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl untuk udara dan fluida cair. Hasil penelitiannya bahwa perpindahan panas terjadi pada 3 daerah yaitu, laminar boundary layer, reattachment of shear layer dan periodic vortex flow. Bilangan Nusselt bergantung pada Reynolds number dan Prandtl number.

Pada penelitian ini akan diteliti secara numerik mengenai pengaruh bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada silinder tunggal yang menggunakan 3

variasi bilangan Reynolds fluida kerja yang berbeda yaitu 2, 25 dan 150 dengan bilangan Prandtl untuk properties fluida udara (0.7). Dengan menggunakan CFD Fluent 6.3.26.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1 Konsep dan Persamaan Dasar

Pada penelitian ini, aliran diasumsikan sebagai 2-D, *fully developed, external flow, unsteady flow, incompressible fluid* dan *viscous fluid*. Persamaan dasar aliran dan perpindahan panas :  
Konservasi Massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad 2.1$$

Persamaan Continuitas  
Aliran incompressible sehingga :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad 2.2$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u = -\frac{1}{\rho} \nabla p - g + \nu \nabla^2 u \quad 2.3$$

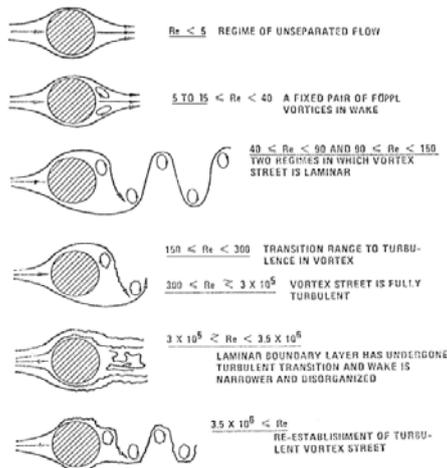
Persamaan Energi

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p (u \cdot \nabla) T = k \nabla^2 T \quad 2.4$$

Reynolds number merupakan rasio dari gaya inersia dan gaya viskos dari fluida<sup>[3]</sup>. Reynolds number didasarkan pada diameter silinder dan kecepatan. Reynolds number dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut :

$$ReD = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad 2.5$$

Jhon. Liendhard<sup>[4]</sup> menunjukkan karakteristik aliran yang terjadi pada flow regimes aliran yang melintasi silinder sirkular yang secara general dapat dikalsifikasikan sebagai berikut :



Gambar 1. Karakteristik aliran melintasi silinder sirkular

Pada aliran yang melintasi silinder sirkular tunggal bilangan Reynolds berpengaruh terhadap terjadinya separasi aliran dan memicu terbentuknya *velocity boundary layer*. *Velocity boundary layer* terjadi akibat perbedaan antara kecepatan *free stream* dan kecepatan pada permukaan dinding silinder. *Velocity boundary layer* mempunyai ketebalan yang disebut sebagai *velocity boundary layer thickness*, yang ditulis dalam persamaan sebagai berikut :

$$\delta = \sqrt{\nu \cdot t} \quad 2.6$$

Bilangan Prandtl merupakan perbandingan dari viskositas kinematik terhadap termal difusi. Prandtl number merupakan ukuran efektifitas relative dari momentum dan perpindahan energi secara difusi dengan kecepatan pada lapisan batas termal. Besarnya Prandtl number dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad 2.7$$

Bilangan Prandtl berpengaruh terhadap *thermal boundary layer*. *Thermal boundary layer* merupakan hasil dari perbedaan antara temperatur free stream dan temperatur pada permukaan benda.

Nusselt number merupakan parameter perpindahan panas konveksi yang terjadi di permukaan benda. Bilangan Nusselt untuk aliran pada silinder dapat dihitung dengan persamaan :

$$Nu = \frac{h D}{k} \quad 2.8$$

Berdasarkan korelasi empiris, Hilpert merumuskan bilangan Nusselt rata-rata sebagai fungsi dari bilanga Reynolds dan bilangan Prandtl.

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h} D}{K} = C Re^m Pr^{1/3} \quad 2.9$$

Persamaan Hilpert digunakan untuk  $Pr \geq 7$ . Dimana konstanta C dan m dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Konstanta  $Re_D$ , C dan m.<sup>[3]</sup>

$Re_D$	C	m
0.4-4	0.989	0.330
4-40	0.911	0.385
40-4000	0.683	0.466
4000-40,000	0.193	0.618
40,000-400,000	0.027	0.805

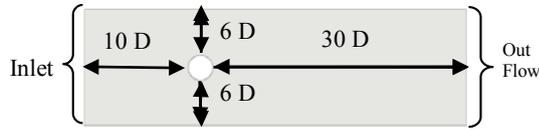
Strouhal number merupakan parameter yang menggambarkan terjadinya *vortex shedding* pada *wake region* dalam suatu aliran. Persamaan bilangan Strouhal dapat ditulis sebagai berikut :

$$St = \frac{f_s D}{V} \quad 2.10$$

### 2.2 Metode Numerik

Proses pembuatan geometri dan meshing dilakukan dengan menggunakan *software* Gambit

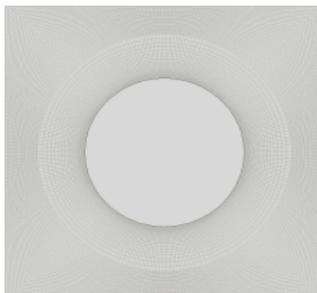
2.4, kemudian diekspor ke Fluent 6.3.26 untuk disimulasi. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum proses iterasi dilakukan. Antara lain : pemilihan model, identifikasi material, set up *Boundary condition*, pemilihan solusi. Hasil dari simulasi menunjukkan informasi penting terkait dengan variasi bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl.



Gambar 2. *Computaion domain*

Gambar 2, merupakan visualisasi dari computation domain yang dibuat berdasarkan geometri dimana aliran melintasi silinder pada sebuah *channel* yang mana aliran dikondisikan mengalami konveksi paksa.

Pembuatan *meshing (grid)* pada model merupakan aspek yang penting guna menentukan keakurasian dan kemampuan konvergen pada saat *post processing*, maka digunakan jenis *quadrilateral map* untuk permukaan tube jarak lebih rapat guna mengamati perubahan properti fluida di daerah dekat tube sedangkan jarak yang agak jauh dari permukaan tube dibuat lebih renggang. Hasil dari pada meshing pada model diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. *Model meshing ( quadrilateral map)*

Tabel 2. *Settingan*

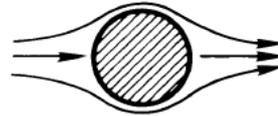
Settings	Identifikasi
Solver	2-D, Unsteady, Pressure based, 2 <sup>nd</sup> -order implicit
Turbulence model	k- $\omega$ , SST
Pressure-velocity coupling	SIMPLEC
ressure	2 <sup>nd</sup> order upwind
Momentum	2 <sup>nd</sup> order upwind
Turbulent kinetik energi	2 <sup>nd</sup> order upwind
Turbulent dissipation rate	2 <sup>nd</sup> order upwind
Specific dissipation rate	2 <sup>nd</sup> order upwind
Konvergensi	10 <sup>-8</sup> (untuk udara dan air), 10 <sup>-12</sup> (untuk engine oil)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pola Aliran

##### 3.1.1 Pengaruh Bilangan Reynolds

Seperti yang telah ditunjukkan sebelumnya oleh Lienhard, pola aliran yang melintasi silinder dimana aliran berkembang seiring kenaikan bilangan Reynolds.



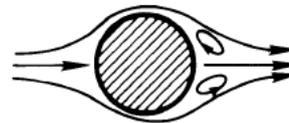
Gambar 4. *Pola Aliran pada Re<sub>D</sub> < 5<sup>[4]</sup>*

Dari hasil simulasi untuk  $Re_D$  2 untuk fluida udara. Pola aliran yang tergambar pada streamline menunjukkan pola yang sama dengan pola aliran yang terlihat pada gambar 4. dimana aliran mengikuti kontur dari silinder dan tidak terjadi separasi pada permukaan silinder.



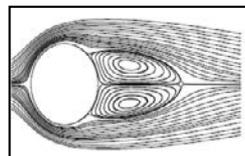
Gambar 5. *Streamline pada Re<sub>D</sub> 2 dengan menggunakan fluida udara*

Gambar 6, merupakan pola aliran pada regime  $5-15 \leq Re_D < 40$ , dimana terlihat sudah terjadi separasi aliran untuk daerah yang dekat dengan dinding belakang silinder. Hal ini ditandai dengan timbulnya *twin vortex* (olakan yang sama pada sisi atas dan bawah dari silinder).

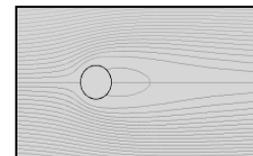


Gambar 6. *Pola Aliran pada 5-15 ≤ Re<sub>D</sub> < 40<sup>[4]</sup>*

Gambar 7, merupakan visualisasi kontur streamline yang dilakukan pada fluida udara. Hasil simulasi mendapatkan kontur streamline yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh G. Biswas<sup>[5]</sup> untuk bilangan Reynolds 25.



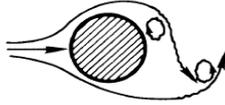
(a) *Streamline<sup>[5]</sup>*



(b) *hasil simulasi*

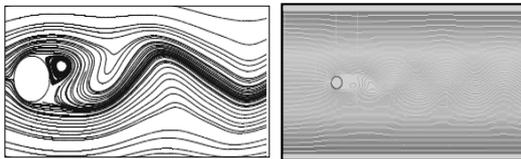
Gambar 7. Streamline pada  $Re_D$  25

Pada  $Re_D$  yang semakin meningkat, *shedding Eddy* menjadi semakin panjang searah aliran dan panjangnya meningkat secara linier terhadap Reynolds number sampai aliran menjadi tidak stabil pada  $Re \sim 40$ . Sehingga pada bilangan Reynolds 150 terbentuklah Karman vortex street secara periodik.



Gambar 8. *rota auran* pada regime  $150 \leq Re_D < 300$

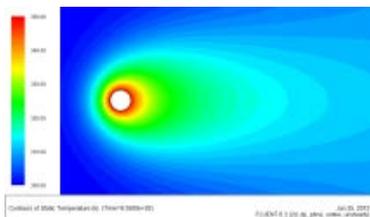
Gambar 8, merupakan visualisasi *streamline* pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh S.Singha [6] dan present studi. terlihat kontur streamline yang sama dengan pola aliran yang telah dikemukakan oleh Liendhard. Dimana pada  $Re_D$  150 dengan adanya *pressure gradient* dan gaya viskos menyebabkan aliran terseparasi dan membentuk *vorticity* pada *wake region*. Kemudian *vorticity* ini akan melepas dan membentuk *vortex shed* yang terjadi secara periodik.



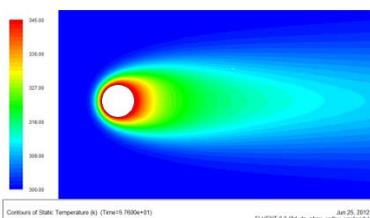
(a) Streamline [6] (b) hasil simulasi  
Gambar 8. Streamline pada  $Re_D$  150

### 3.1.2 Pengaruh Bilangan Prandtl

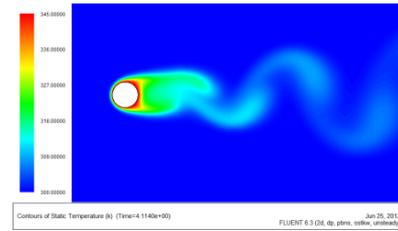
Bilangan Prandtl merupakan rasio antara viskositas kinematik fluida dengan difusi thermal. Sehingga bilangan Prandtl sangat berpengaruh terhadap *thermal boundary layer*. Pengaruh bilangan Prandtl terhadap aliran ditunjukkan pada kontur temperatur.



Gambar 9. Kontur temperatur pada  $Re_D$  2



Gambar 10. Kontur temperatur pada  $Re_D$  25



Gambar 11. Kontur temperatur pada  $Re_D$  150

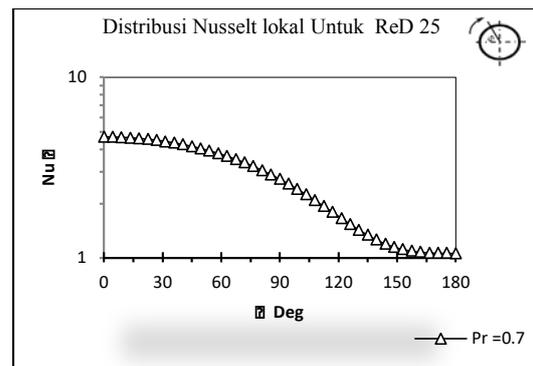
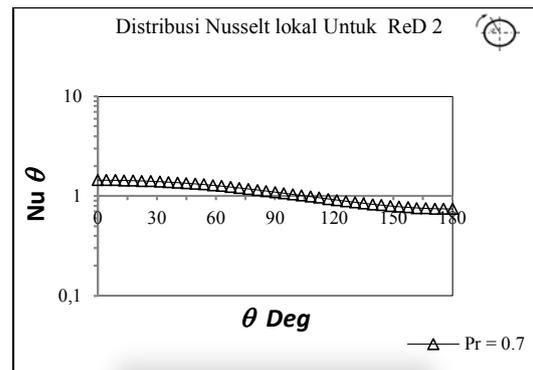
Gambar 9,10 dan 11 merupakan visualisasi kontur temperatur pada  $Re_D$  2,  $Re_D$  25 dan  $Re_D$  150, untuk fluida udara (0.7). Dari visualisasi kontur temperatur nampak fluida udara memiliki *thermal boundary layer* yang lebih tebal.

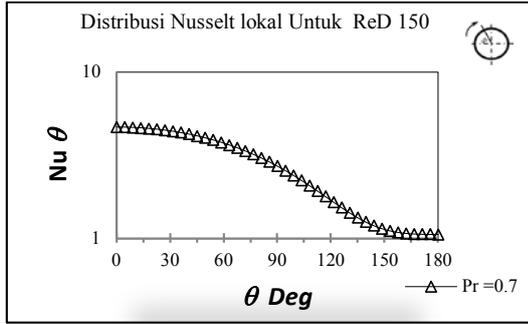
## 3.2 Karakteristik Perpindahan Panas

### 3.2.1 Bilangan Nusselt Lokal

Bilangan Nusselt merupakan parameter yang tak berdimensi yang mengindikasikan besarnya perpindahan panas. Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl. Bilangan Nusselt lokal dihitung dengan menggunakan koefisien lokal perpindahan panas berdasarkan *heat flux* lokal pada permukaan silinder sirkular, temperatur lokal pada dinding silinder.

### 3.2.2 Pengaruh Bilangan Reynolds Terhadap Bilangan Nusselt Lokal

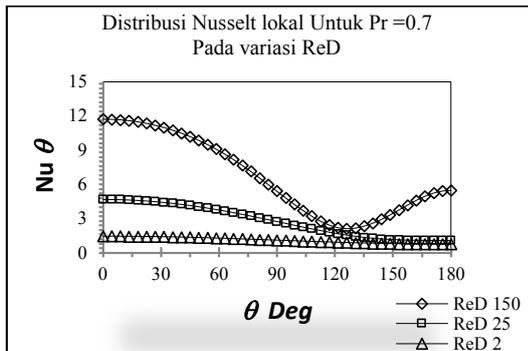




Gambar 12. Distribusi bilangan Nusselt lokal Pada variasi  $Re_D$

Gambar 12 merupakan distribusi bilangan Nusselt lokal pada variasi bilangan Reynolds. Pada  $Re_D$  dapat dilihat bahwa tidak terjadi separasi pada permukaan silinder. Sehingga perpindahan panas pada  $Re_D$  2 tidak baik. Pada  $Re_D$  25, tampak terjadi separasi pada permukaan silinder. Pada  $Re_D$  150 dimulai pada titik stagnasi,  $Nu_\theta$  menurun seiring naiknya sudut  $\theta$  sebagai hasil berkembangnya laminar boundary layer. Kemudian terjadi separasi pada sudut  $130^\circ$ . Kemudian  $Nu_\theta$  kembali meningkat dengan adanya *mixing layer* yang berhubungan dengan terbentuknya *vortex* pada *wake region*.

### 3.2.3 Pengaruh Bilangan Prandtl Terhadap Bilangan Nusselt Lokal

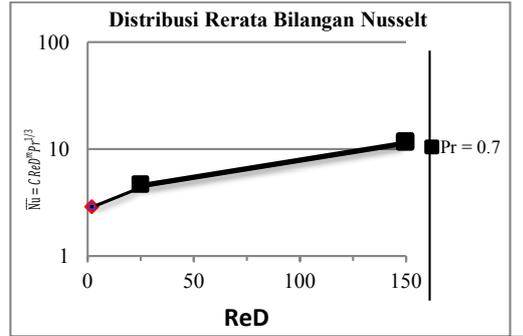


Gambar 13. Distribusi bilangan Nusselt lokal Pada bilangan Prandtl 0.7

### 3.3 Rerata Bilangan Nusselt

Rerata bilangan Nusselt didapat berdasarkan korelasi empiris. Hilpert mendefinisikan Nusselt sebagai fungsi yang dipengaruhi oleh bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl.

Gambar 14, merupakan distribusi rerata bilangan nusselt dari variasi bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl. Dimana seiring naiknya bilangan Reynolds terjadi peningkatan bilangan Nusselt. Karena bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl, sehingga naiknya bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl akan menaikkan nilai rerata bilangan Nusselt.



Gambar 14. Rerata bilangan Nusselt

## 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh Bilangan Reynolds dan Bilangan Prandtl terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada silinder sirkular tunggal terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Pada aliran yang melintasi silinder sirkular tunggal bilangan Reynolds berpengaruh terhadap terjadinya separasi aliran dan memicu terbentuknya *velocity boundary layer*.
- 2) Semakin tinggi bilangan Reynolds terjadi peningkatan bilangan Nusselt. Hal ini terjadi karena, bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl, sehingga naiknya bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl akan menaikkan nilai rerata bilangan Nusselt.

## 5. Pustaka

- [1] Zukauskas, A. Ziugzda J. (1985), *Heat Transfer Of a Cylinder in Crossflow*. Hemisphered Publishing Corporation.
- [2] Sanitjait, S., Goldstein R.J., *Forced convection heat transfer from a circular cylinder in crossflow to air and liquids*, *International Journal Of Heat and Mass Transfer* 47 (2004) 4795-4805
- [3] Incropera, P. Frank et al. (2007), *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, 6<sup>th</sup> edition, Jhon Wiley and Son, Inc.
- [4] Liendhard, Jhon H. (2003), *A Heat Transfer Textbook*, Phlogiston Press
- [5] Biswas, G et al., *Unsteady wake dynamics and heat transfer in forced and mixed convection past a circular cylinder in crossflow for high Prandtl numbers*, *International Journal Of Heat and Mass Transfer* 54 (2011) 3536-3551
- [6] Sintu Singha, K.P. Sinhamahapatra., *Flow past a circular cylinder between parallel walls at low Reynolds numbers*, *Ocean Engineering* 37 (2010) 757-769.
- [7] Fox, R. W. Et al (2010), *Introduction to Fluid Mechanics*, 7<sup>th</sup> edition, Jhon Wiley and Son, Inc.