

25385/H/06



TESIS

**STUDI NUMERIK PENGARUH ANGKA REYNOLDS
TERHADAP UNJUK KERJA SUSUNAN TUBE ALIGNED
DAN STAGGERED BERSIRIP TUNGGAL**

Oleh :

JENNY DELLY
Nrp. 2103.202.005

RTM
621.402 5
Del
5-1
2005



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10-3-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	24926

**PROGRAM STUDI MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

**STUDI NUMERIK PENGARUH ANGKA REYNOLDS TERHADAP
UNJUK KERJA SUSUNAN TUBE ALIGNED DAN STAGGERED
BERSIRIP TUNGGAL**


Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

JENNY DELLY
Nrp. 2103.202.005

Tanggal Ujian : 1 Agustus 2005
Periode Wisuda : September 2005


Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :


1. **Dr. Eng. Prabowo, M.Eng**
NIP. 131 902 444

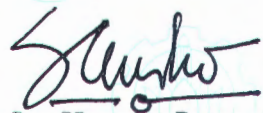
(Pembimbing)

2. **Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA**
NIP. 131 652 212

(Penguji)


3. **Dr. Ir. Sutardi, M.Eng**
NIP. 131 918 689

(Penguji)


4. **Dr. Ing. Herman Sasongko**
NIP. 131 577 243

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc. PhD
NIP. 130 541 829

**STUDI NUMERIK
PENGARUH ANGKA REYNOLDS TERHADAP UNJUK KERJA SUSUNAN
TUBE ALIGNED DAN STAGGERED BERSIRIP TUNGGAL**

*Oleh : Jenny Delly
Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Prabowo, M. Eng.*

ABSTRAK

Pada compact heat exchanger, salah satu usaha untuk memperluas permukaan perpindahan panas adalah dengan menggunakan sirip. Masalah yang akan dikaji adalah bagaimana pengaruh perubahan geometri sirip terhadap unjuk kerja pada penukar panas tipe Compact. Unjuk kerja penukar panas ditunjukkan oleh angka Nusselt, koefisien konveksi (h), efisiensi sirip (η_f), efisiensi overall (η_o). Bentuk sirip yang digunakan pada penelitian ini adalah sirip tunggal dan datar dengan susunan tube aligned dan staggered.

Pada penelitian ini dikaji secara numerik unjuk kerja penukar panas sebagai fungsi dari aliran fluida dan geometri sirip. Untuk mengetahui pengaruh aliran fluida terhadap unjuk kerja penukar panas dilakukan variasi pada angka Reynolds (Re) yang memasuki benda uji ($Re = 500, 750, 1000$). Fluida dingin yang digunakan adalah udara sedangkan untuk fluida panas diganti dengan heater untuk menjaga fluks panas tetap konstan sepanjang tube. Variasi Reynolds diperoleh dengan mengatur kecepatan udara yang memasuki terowongan angin.

Diperoleh hasil, penukar panas dengan sirip tunggal (single fin) pada Reynolds rendah (pada $Re = 500$) menghasilkan efisiensi sirip, efisiensi overall tertinggi untuk susunan tube aligned dan sedangkan pada Reynolds tinggi ($Re = 1000$) dihasilkan angka Nusselt yang tinggi dan koefisien perpindahan panas yang besar.

Kata kunci : staggered, aligned, angka Reynolds, angka Nusselt, koefisien konveksi, efisiensi sirip, efisiensi overall,

**AN NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF
REYNOLDS NUMBER ON THE PERFORMANCE OF ALIGNED AND
STAGGERED TUBES-SINGLE FINS FORMATION**

By: Jenny Delly

Under Supervisor : Dr. Eng. Ir. Prabowo, M. Eng.

ABSTRACT

On a compact heat exchanger, one way to increase heat transfer area is by fin addition. The problem that will be studied is the effect of geometric changing on performances of heat exchanger. Performances of heat exchanger are presented in the form of heat transfer rate (q), heat flux (q''), coefficient of heat transfer (h), fin efficiency (η_f), and overall efficiency (η_o). Fin geometry that has been used in this experiment is single flat, and tube formation is aligned and staggered.

This research studies numerically the fluid stream on performances of a heat exchanger. Fluid stream effect is studied through three variations of Reynolds number (Re) i.e. 500, 750, 1000. Cooling fluids is air and hot fluid was replaced by heater to keep constant heat flux a long the tube. Reynolds number variations are obtained by controlling fluid velocity in the wind tunnel.

The result of this research show that fin efficiency and overall efficiency on the lowest Reynolds number ($Re = 500$) is the highest for aligned and staggered configuration. The highest Reynolds number ($Re = 1000$) result in highest Nusselt number and convection heat transfer coefficient.

Keywords: compact heat exchanger, aligned, staggered, Reynolds number, Nusselt number, convection heat transfer coefficient, fin efficiency, overall efficiency

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan atas berkat dan karunian-Nya, sehingga thesis dengan judul; *Study Numerik Pengaruh Angka Reynolds Terhadap Unjuk Kerja Susunan Tube Aligned dan Staggered bersirip Tunggal*, dapat kami rampungkan.

Penulisan tesis ini adalah dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan akademis yang harus diselesaikan setiap mahasiswa Program Pasca Sarjana S-2, Teknik Mesin FTI-ITS untuk berhak menyanggah gelar Magister Teknik.

Proses penyusunan thesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Berkenaan dengan hal tersebut penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Prabowo, selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran dan dedikasi telah memberikan bimbingan, motivasi dan dukungan selama penulis menempuh kuliah S-2 di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
2. Bapak Dr. Ing. Herman Sasongko selaku dosen penguji sekaligus sebagai ketua jurusan Teknik Mesin FTI - ITS, atas segala sumbangsih ilmu, dukungan, saran dan kritik yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA. Selaku dosen penguji sekaligus sebagai staff pengajar Teknik Mesin FTI-ITS, atas segala sumbangsih ilmu, dorongan dan masukan yang diberikan kepada penulis.

4. Bapak Dr. Ir. Sutardi, M.Eng, selaku dosen penguji sekaligus staff pengajar Teknik Mesin FTI-ITS, atas segala sumbangsih ilmu, dorongan dan masukan yang sangat berarti yang diberikan kepada penulis.
5. Semua Staff Pengajar Program Pasca Sarjana jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, atas semua bimbingan dan masukan ilmu, yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh kuliah S-2 di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Bapak Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng. Selaku ketua program studi S-2 Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan dukungan semangat dan fasilitas bagi penulis dalam menyelesaikan thesis ini.
7. Pak *Wawan Aries, Giri* ; atas bantuan dan masukannya selama mengerjakan thesis ini
8. Rekan-rekan mahasiswa Pasca Sarjana : *Eva, Irham, Mangkona, Faisal* ; Bantuan dan Solidaritas anda semua sangat berarti. Semoga sukses selalu
9. Pak Sumiadi, Mbak Aulia, Mas Totok, Mas Dani serta semua karyawan jurusan Teknik Mesin FTI -ITS.
10. Kedua Anakku-*Gabriella Monalisa dan Gilbert Inoca* ; Doa, pengorbanan dan pengertian kalian menjadi cambuk dan kekuatan dalam menyelesaikan thesis ini.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis selama ini, yang tak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis sadar sepenuhnya bahwa karya ilmiah ini masih banyak diwarnai kekurangan dan kelemahan, sehingga koreksi dan saran ke arah penyempurnaan akan sangat membantu penulis. Akhirnya dengan penuh kerendahan hati, penulis

berharap kiranya dalam kekurangan dan kelemahannya karya ini dapat bermanfaat.

Keputih, Agustus 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xvi
NOMENKLATUR	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	2
I.2 Perumusan Masalah	4
I.3 Batasan Masalah	5
I.4 Tujuan Penelitian	5
I.5 Metode Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Penelitian Terdahulu	7
II.2 Aliran Viscous dan Non Viscous	12
II.3 Aliran Laminar dan Turbulen	13
II.4 Aliran Internal dan Eksternal	13
II.5 Perkembangan Lapisan Batas Aliran	15
II.6 Lapisan Batas Termal	16

II.7 Aliran Melintasi Pembuluh	19
II.8 Prinsip Dasar Perpindahan Panas	20
II.8.1 Konduksi	21
II.8.1.1 Konduksi Satu Dimensi pada Dinding Datar.....	22
II.8.1.2 Konduksi pada Silinder.....	23
II.8.1.3 Perpindahan Panas dari Permukaan yang Diperluas	24
II.8.2 Konveksi.....	25
II.8.3 Radiasi.....	29
II.9 Konsep Keseimbangan Energi.....	29
II.9.1 Fluks Panas Bangkitan Oleh Pemanas (Heater).....	30
II.9.2 Panas yang diterima oleh Udara	31
II.10 Laju Perpindahan Panas.....	33
II.11 Unjuk Kerja Sirip	34
II.12 Korelasi Perpindahan Panas dengan Faktor j Colburn.....	37
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Variabel Penelitian	40
III.3 Metode Numerik	42
 BAB IV. ANALISA DAN DISKUSI	
4.1 Pola Aliran Pengaruh dari Angka Reynolds dan Jarak Sirip	
Susunan Tube Aligned.....	58
4.2 Pola Aliran Pengaruh dari Angka Reynolds dan Jarak Sirip	
Susunan Tube Staggered.....	68

4.3 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap angka Nusselt Lokal dan Kecepatan Lokal	77
4.4 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap angka Nusselt Lokal dan Kecepatan Lokal	84
4.5 Analisa Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Koefisien Konveksi.....	90
4.6 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap Efisiensi Sirip.....	93
4.7 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap Efisiensi Permukaan Menyeluruh	98

BAB V. PENUTUP

V.1 Kesimpulan.....	102
V.2 Saran	103

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran A

Lampiran B

Lampiran C

Lampiran D

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1	Jenis-jenis <i>Compact Heat Exchanger</i> 1
Gambar 2.1	Hubungan C_p dan C_f terhadap D/l susunan staggered 7
Gambar 2.2	Hubungan stream wise dan spanwise susunan staggered (E.R Meinders, K Hanjalic [2002]) 8
Gambar 2.3	Hubungan angka Nusselt dan power fan (Tamotsu Igarasi, Hajime Nakamura, Taketo Fukuoka [2004]) 9
Gambar 2.4	Pengaruh angka Reynolds terhadap faktor j Colburn dan friction factor, Hasil penelitian Kays dan London..... 10
Gambar 2.5	Pengaruh Re terhadap laju perpindahan panas dengan $v_{udara}=1,31$ m/s, $T_{udara\ in}=21^{\circ}C$, $T_{air\ in}=54^{\circ}C$ (Zao,X; 1995) 12
Gambar 2.6	Aliran melalui saluran pipa 14
Gambar 2.7	Aliran melalui silinder ellips 14
Gambar 2.8	Perkembangan lapis batas aliran 16
Gambar 2.9	Lapisan batas termal 17
Gambar 2.10	Konfigurasi pembuluh aligned dan staggered 19
Gambar 2.11	Aliran melintasi susunan pembuluh <i>aligned</i> 20
Gambar 2.12	Skema proses perpindahan panas 21
Gambar 2.13	Distribusi suhu pada dinding 22
Gambar 2.14	Konduksi pada silinder 23
Gambar 2.15	Konfigurasi sirip 24
Gambar 2.16	Perpindahan panas konveksi melintasi plat datar 26

Gambar 2.17	Skema konsep keseimbangan energi	30
Gambar 2.19	Pengaruh $L_c^{3/2} \left(\frac{h}{k.A_p} \right)^{1/2}$ terhadap Efisiensi Sirip untuk <i>Circular Fin</i>	35
Gambar 2.20	Susunan sirip	38
Gambar 3.1	Skema instalasi penelitian	42
Gambar 3.2	Saluran uji (<i>wind tunnel</i>) yang digunakan (samping)	43
Gambar 3.3	Peletakan benda uji pada saluran uji	44
Gambar 3.4	Benda uji Aligned	44
Gambar 3.5	Benda uji staggered	45
Gambar 3.6	Pengukuran kecepatan dengan anemometer	46
Gambar 3.7	Skema variabel penelitian	47
Gambar 3.8	Titik penempatan <i>thermocouple</i> (aligned)	48
Gambar 3.9	Titik penempatan <i>thermocouple</i> (staggered)	49
Gambar 3.10	<i>Digital display Thermometer</i>	51
Gambar 3.11	Bentuk grid pada meshing model	55
Gambar 3.12	Flowchart simulasi numerik	61
Gambar 3.13	Control volume sekeliling node P.....	62
Gambar 3.14	Control volume Upwind differencing scheme.....	64
Gambar 4.1	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (Eksperimen)	71
Gambar 4.2	Pengaruh Re terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (Eksperimen)	72
Gambar 4.3	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Efisiensi sirip (Eksperimen)	73

Gambar 4.4	Pengaruh Re terhadap Efisiensi sirip (Eksperimen)	74
Gambar 4.5	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Efisiensi Overall (Eksperimen)	75
Gambar 4.6	Pengaruh Re terhadap Efisiensi Overall (Eksperimen)	76
Gambar 4.7	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf3 susunan tube aligned.....	78
Gambar 4.8	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf3 susunan tube aligned.....	79
Gambar 4.9	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf3 susunan tube aligned.....	80
Gambar 4.10	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf5 susunan tube aligned.....	81
Gambar 4.11	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf5 susunan tube aligned.....	82
Gambar 4.12	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf5 susunan tube aligned.....	83
Gambar 4.13	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf7 susunan tube aligned.....	84
Gambar 4.14	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf7 susunan tube aligned.....	85
Gambar 4.15	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf7 susunan tube aligned.....	86

Gambar 4.16	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf3 susunan tube staggered	87
Gambar 4.17	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf3 susunan tube staggered	88
Gambar 4.18	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf3 susunan tube staggered	89
Gambar 4.19	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf5 susunan tube staggered	90
Gambar 4.20	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf5 susunan tube staggered	91
Gambar 4.21	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf5 susunan tube staggered	92
Gambar 4.22	Kontur temperatur dan pola aliran Re 500, Pf7 susunan tube staggered	93
Gambar 4.23	Kontur temperatur dan pola aliran Re 750, Pf7 susunan tube staggered	94
Gambar 4.24	Kontur temperatur dan pola aliran Re 1000, Pf7 susunan tube staggered	95
Gambar 4.25	Grafik angka Nusselt local pada pf = 3mm, tube 1.....	96
Gambar 4.26	Grafik angka Nusselt local pada pf = 5mm, tube 1.....	97
Gambar 4.27	Grafik angka Nusselt local pada pf = 7mm, tube 1.....	97
Gambar 4.28	Grafik angka Velocity magnitude pada pf = 3mm, tube 1.....	98
Gambar 4.29	Grafik angka Velocity magnitude pada pf = 5mm, tube 1.....	99

Gambar 4.30	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 7\text{mm}$, tube 1.....	99
Gambar 4.31	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 2.....	100
Gambar 4.32	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 2.....	100
Gambar 4.33	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 2.....	101
Gambar 4.34	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 3\text{mm}$, tube 2.....	101
Gambar 4.35	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 5\text{mm}$, tube 2.....	102
Gambar 4.36	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 7\text{mm}$, tube 2.....	102
Gambar 4.37	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	103
Gambar 4.38	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	103
Gambar 4.39	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	104
Gambar 4.40	Grafik angka Velocity magnitude local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	104
Gambar 4.41	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 5\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	105
Gambar 4.42	Grafik angka Velocity magnitude pada $pf = 7\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	105
Gambar 4.43	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	106
Gambar 4.44	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 3 susunan staggered	106

Gambar 4.45	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 5 susunan susunan staggered	108
Gambar 4.46	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 1 susunan staggered	108
Gambar 4.47	Grafik angka Nusselt local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 3 susunan staggered	108
Gambar 4.48	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (Numerik)	110
Gambar 4.49	Pengaruh Re terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (Numerik)	111
Gambar 4.50	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Fisiensi sirip (Numerik)	113
Gambar 4.51	Pengaruh Reterhadap Fisiensi sirip (Numerik)	116
Gambar 4.52	Pengaruh Jarak Sirip terhadap Efisiensi Overall (Numerik)	118
Gambar 4.53	Pengaruh Jarak Re terhadap Efisiensi Overall (Numerik)	119

DAFTAR TABEL

Hai

Tabel 2.1	Tabel Spesifikasi Hasil Penelitian Kays dan London	10
Tabel 3.2	Metode Diskritisasi dan Nilai Faktor Under Relaksasi	68

NOMENKLATUR

A_b	Luas permukaan perpindahan panas pembuluh (<i>tube</i>), m^2
A_f	Luas permukaan perpindahan panas sirip (<i>fin</i>), m^2
A_{ff}	Luas aliran bebas (<i>free flow area</i>) dari model <i>compact heat exchanger</i> , m^2
A_{fr}	Luasan yang tegak lurus arah aliran (<i>frontal</i>), m^2
A_p	Luasan profil sirip, m^2
A_t	Luasan total permukaan perpindahan panas, m^2
c_p	Panas spesifik tekanan konstan, $\frac{J}{kg^{\circ}K}$
D_t	Diameter pembuluh (<i>tube</i>), m
D_h	Diameter hidrolis, m
G	Mass velocity ($Kg/m^2.s$)
h	Koefisien perpindahan panas konveksi, $\frac{W}{m^2K}$
I	Arus listrik, ampere
j_H	Faktor j Colburn
k	Konduktivitas thermal material, $\frac{W}{m^2K}$
L_c	Panjang karakteristik sirip, m
L_f	Panjang/Lebar sirip (<i>fin</i>), m
\dot{m}	Laju alir massa udara, kg/s.
N_f	Jumlah sirip
Nu_0	Angka Nusselt lokal

\overline{Nu}_L	Angka Nusselt rata-rata
P	Keliling terbasahi (<i>wetted perimeter</i>), m
P_b	Panjang pembuluh, m
P_f	Jarak (<i>pitch</i>) sirip, m
Pr	angka Prandtl
q	Laju perpindahan panas, watt.
q''	Fluks panas, W/ m ²
R	Thermal Resistance (K/W)
Re	angka Reynold
St	angka Stanton
t_f	Tebal sirip, m
T_b	Suhu pembuluh lokal, °C
\overline{T}_b	Suhu pembuluh rata-rata, °C
\overline{T}_{ex}	Suhu rerata permukaan luar penukar panas, °C
T_f	Suhu sirip lokal, °C
\overline{T}_f	Suhu sirip rata-rata, °C
T_{ui}	Suhu udara masuk, °C
T_{uo}	Suhu udara keluar, °C
T_u	Suhu udara rerata, °C
v	Kecepatan udara, m/s
V	Voltase, volt
V_t	Volume total penukar panas, m ³



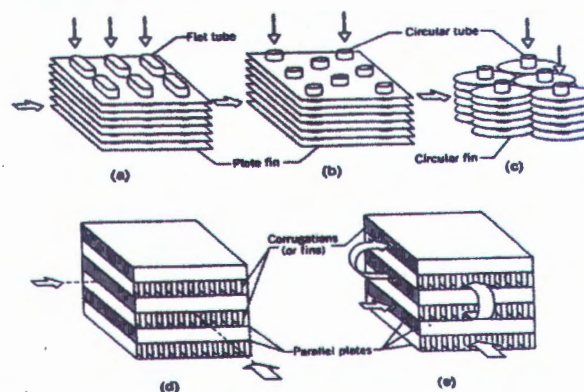
- α Luas permukaan perpindahan panas/volume total penukar panas, m^2/m^3
- η_f Efisiensi sirip (*single fin*)
- η_o Efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*).



BAB I

PENDAHULUAN

Perkembangan industri terutama dalam bidang teknologi, pada umumnya banyak membutuhkan suatu alat untuk memindahkan sejumlah energi panas dari sistem ke lingkungan atau antara bagian-bagian yang berbeda di dalam suatu sistem. Alat utama yang digunakan untuk memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin disebut penukar panas (*heat exchanger*). Secara umum fluida tersebut terpisahkan oleh suatu dinding sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi dari sisi masing-masing fluida dan konduksi pada dinding. Jenis-jenis penukar panas tersebut dapat dikelompokkan menurut geometri konstruksi dari penukar panas (*tubes, plates, dan extended surface* atau *compact*), proses perpindahannya (*direct dan indirect contact*), serta konfigurasi aliran fluida (*parallel, counter dan cross flow*).



Gambar 1.1 Jenis –jenis *Compact Heat Exchanger*.

- a) *Fin-tube (flat tube, continuous plate fins)*.
- b) *Fin-tube (circular-tube, continuous plate fins)*.
- c) *Fin-tube (circular tube, circular fins)*.
- d) *Plate-fin (single pass)* e) *Plate-fin (multipass)*.



Untuk mendapatkan unjuk kerja penukar panas yang optimal, maka laju perpindahan panas yang terjadi (aktual) harus sebesar mungkin dan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi relatif kecil. Untuk memaksimalkan laju perpindahan panas aktual, maka salah satunya dapat diwujudkan dengan menambah luas permukaan singgung (kontak) perpindahan panas. Salah satu cara untuk menambah luas permukaan singgung perpindahan panas adalah dengan menggunakan *fin* (sirip) sebagai luasan tambahan (*extended surface*). Untuk mendapatkan efisiensi sirip yang tinggi, maka perlu diperhatikan material sirip yang digunakan, geometri sirip, dan lingkungan dimana sirip tersebut digunakan.

I.1 Latar Belakang

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mendesain sirip adalah *jarak antar sirip* (L), *ketebalan sirip* (t), dan *luasan efektif sirip* (A). Jarak antar sirip yang terlalu renggang menyebabkan perpindahan panas yang terjadi kurang maksimal, sedangkan jika terlalu rapat menyebabkan penurunan tekanan yang besar sehingga unjuk kerja (*performance*) penukar panas tidak optimal. Tebal sirip yang berlebihan menyebabkan persinggungan dengan udara akan berkurang, sedangkan jika terlalu tipis temperatur sirip akan turun drastis pada ujung sirip sehingga laju perpindahan panas kurang maksimal. Sedangkan susunan pembuluh (*tube*) sebagai *base* bagi sirip (yang dialiri fluida panas) akan mempengaruhi aliran fluida dingin yang memasuki sistem, sehingga mempengaruhi besar laju perpindahan panas aktualnya.

Penelitian terdahulu yang mendasari penelitian ini adalah penelitian *Kays*



dan London(1993) yang menghasilkan pengaruh angka Reynolds terhadap faktor j Colburn dari model penukar panas (*compact heat exchanger*) dengan susunan pembuluh (*tube*) stagger berdiameter luar 10,2 mm dan sirip kontinyu serta dengan spesifikasi model perbandingan luasan total perpindahan panas terhadap volume total (α) $587 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dan perbandingan *free flow area* terhadap *frontal area* (σ) 0,534. Selain itu Kays dan London juga meneliti untuk *bare aligned tube* untuk diameter 14,76 mm, $\alpha = 397,627 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $\sigma = 0,333$. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa dengan semakin bertambahnya angka Reynolds aliran, faktor j Colburn model *compact heat exchanger* menjadi semakin menurun. Selain itu penelitian Kays dan London ini juga menghasilkan kecenderungan *friction factor* yang semakin menurun sebagai akibat bertambahnya angka Reynolds. Zhao(1995) meneliti dalam *thesisnya* tentang unjuk kerja *single row heat exchanger* yang salah satunya menghasilkan laju perpindahan panas yang memiliki trend/gradien yang naik tajam terhadap angka Reynolds rendah. Namun kenaikan grafik (gradien) laju perpindahan panas tersebut menjadi landai dengan bertambahnya angka Reynolds (pada angka Reynolds tinggi).

Melalui studi eksperimental dan numerik kali ini akan dikaji lebih lanjut tentang susunan pembuluh (*tube*) *aligned* dan *staggered* bersirip kontinyu sebagai model penukar panas (*compact heat exchanger*) dengan variasi tiga jarak/spasi sirip (3 mm, 5 mm, dan 7 mm) dan tiga variasi angka Reynolds aliran udara sebagai fluida pendingin (500, 750, dan 1000), sehingga nantinya didapatkan suatu kesimpulan terhadap ketiga model tersebut. Dari variasi jarak sirip tersebut



nantinya menghasilkan model penukar panas dengan α dan σ yang berbeda dari penelitian sebelumnya.

I.2 Perumusan Masalah

Perubahan spasi/jarak sirip akan menyebabkan perbedaan luasan permukaan singgung perpindahan panas (luasan efektif) dan struktur aliran fluida pada penukar panas, sehingga proses perpindahan panas juga akan berubah. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana pengaruh dari perubahan jarak/spasi sirip (dengan menjaga konstan faktor panjang, lebar, dan tebal sirip) dan perubahan kecepatan aliran fluida dingin (udara) dengan memvariasikan angka Reynolds terhadap karakteristik model penukar panas (*compact heat exchanger*) tersebut. Karakteristik model penukar panas dalam penelitian ini nantinya dikaji dalam bentuk *efisiensi sirip*, *efisiensi permukaan menyeluruh (overall efficiency)*, *laju perpindahan panas*, *fluks panas (heat flux)*, *koefisien perpindahan panas konveksi*, *angka Nusselt* dan *pola aliran*.

Dari perubahan jarak sirip didapatkan hipotesa awal sesuai teori bahwa dengan semakin lebar jarak sirip, koefisien perpindahan panas konveksi, laju perpindahan panasnya, serta fluks panasnya akan semakin turun. Sementara efisiensi sirip dan efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*) akan naik. Sedangkan dengan semakin tinggi angka Reynolds aliran, koefisien perpindahan panas konveksi, laju perpindahan panasnya, serta fluks panasnya akan semakin naik. Sementara efisiensi sirip, efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*), cenderung menurun seiring bertambahnya angka



Reynolds aliran.

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang diambil agar penelitian yang dilakukan menjadi lebih fokus adalah sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan dengan membuat model penukar panas berupa empat (4) buah pembuluh yang tersusun secara *aligned* dan 8 buah pembuluh yang tersusun secara *staggered* dengan sirip tunggal dan tebal tertentu.
2. Aliran udara tunak (*steady*) dan *incompressible*.
3. Kecepatan udara masuk benda uji seragam, yang divariasikan pada angka Reynolds tertentu.
4. Fluks panas (*heat flux*) pada pembuluh yang dipanasi dengan pemanas (*heater*) konstan
5. Analisa hanya dibatasi pada konveksi dari permukaan pembuluh dan sirip dengan udara.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengevaluasi karakteristik perpindahan panas susunan *tube aligned dan staggered* bersirip tunggal dan angka Reynolds.
2. Mendapatkan pola aliran untuk angka Reynolds.

I.5 Metoda Penelitian

Untuk mempermudah dalam analisa hasil-hasil penelitian eksperimental, maka disusun aktivitas-aktivitas berikut ini :

- Studi literatur

Permasalahan yang akan timbul dalam penelitian ini dapat dikaji dengan



memahami dan mempelajari buku-buku tentang perpindahan panas, termodinamika, mekanika fluida, jurnal-jurnal hasil penelitian terdahulu serta referensi lain yang dapat memberikan solusi dalam penelitian ini disamping sebagai data sekunder.

○ Studi Numerik

Pembuatan modeling dengan menggunakan program gambit dan dirunning dengan program fluent 6.2 untuk memperoleh data temperature, angka Nusselt dan kecepatan yang dibutuhkan agar dapat dikaji dalam perhitungan untuk mendapatkan karakteristik model tersebut.

○ Analisa hasil pengujian

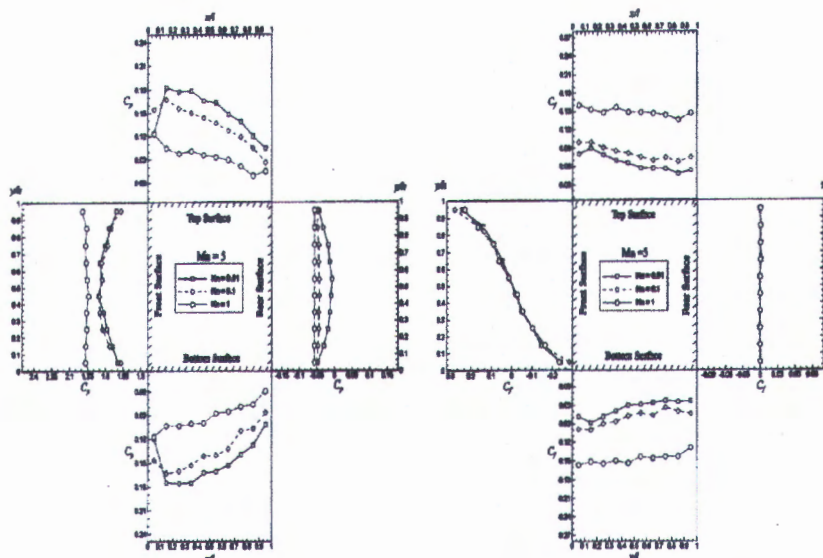
Setelah dilakukan pemodelan terhadap model uji tersebut, maka dilakukan pengambilan data primer yang kemudian dikaji dalam perhitungan untuk mendapatkan karakteristik model uji tersebut dan membuat kesimpulan hasil penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Penelitian Terdahulu

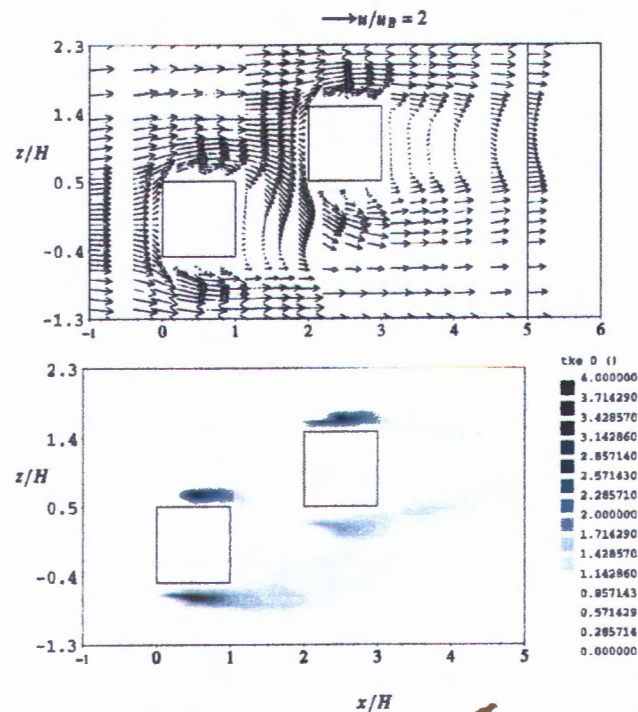
Chin-Hsiang Cheng dan Feng-Liang Liao [2000], melakukan penelitian dengan menggunakan gas yang dilewatkan rectangular cylinder dengan ukuran panjang dan lebar 0.06 m, distribusi C_p , C_f dan C_h dengan variasi Mach number dan Knudsen number sepanjang permukaan rectangular cylinder dengan Knudsen number yang besar, Distribusi dari masing-masing koefisien menjadi uniform pada setiap permukaan



Gambar 2.1 Hubungan C_p dan C_f susunan staggered (E.R.Meinders, K.Hanjalic[2002])

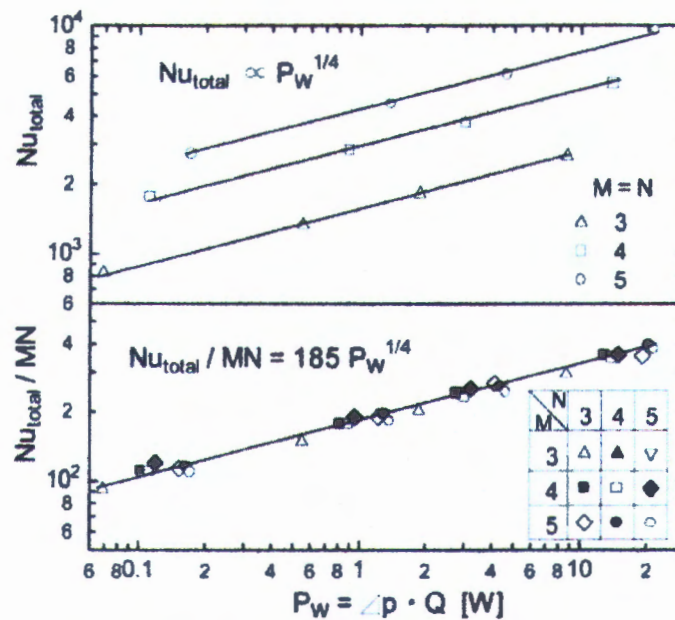
Meinders dan Hanjalic [2002], melakukan studi eksperimental dengan dua kubus disusun secara in-line dan staggered dengan variasi sreamwise (S_x / H) dan spanwise (S_z/H) diperoleh bahwa untuk susunan in-line dengan variasi sreamwise

(S_x / H) memiliki efek yang significant pada struktur aliran disekitar kubus downstream, sedangkan pada susunan staggered dengan variasi streamwise (S_x / H) dan spanwise (S_z/H) kecil, dimana terlihat struktur aliran tidak simetri untuk distribusi local convective heat transfer yang tidak simetri pula.



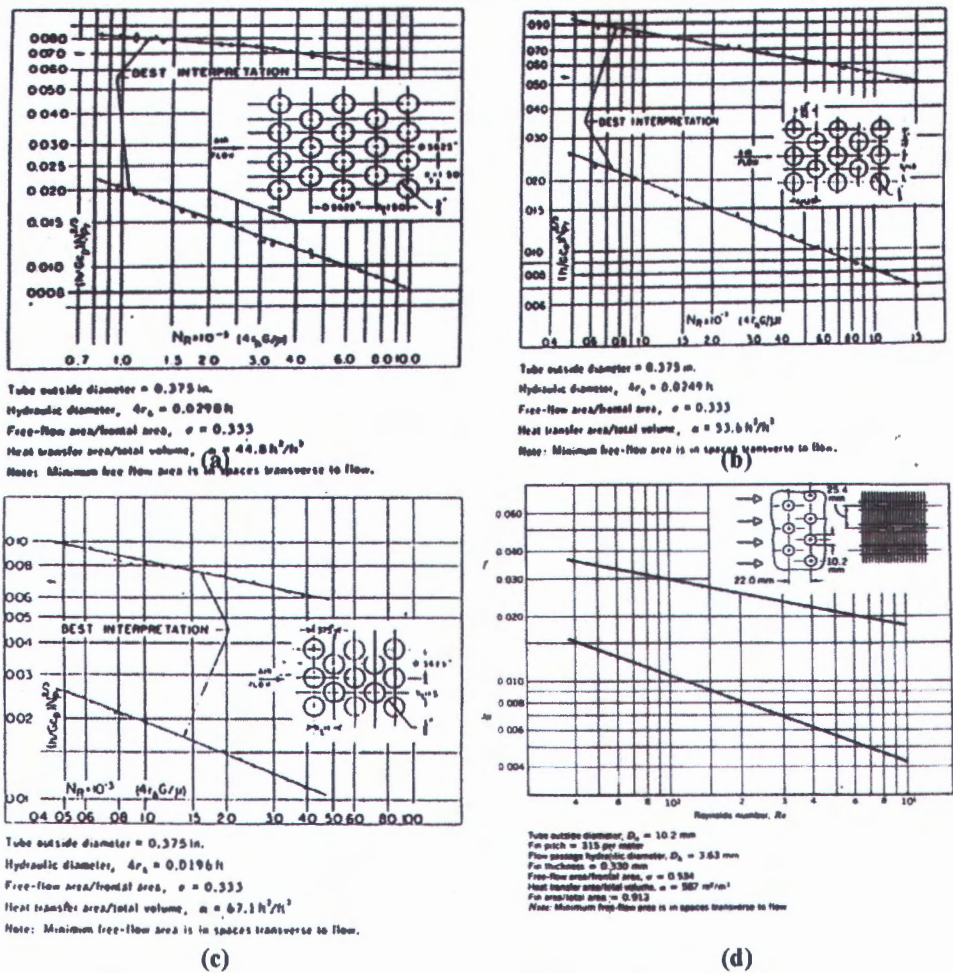
Gambar 2.2 Hubungan streamwise (S_x / H) dan spanwise (S_z/H) susunan staggered (Meinders dan Hanjalic[2002])

Tamotsu et all [2004], meneliti tentang Pressure drop dan heat transfer untuk satu susunan silinder in-line pada dinding parallel, diperoleh hubungan antara Nusselt number dengan fan power dimana dengan semakin besar fan power maka Nusselt number juga akan semakin besar.



Gambar 2.3 Hubungan angka Nusselt dan power fan
(Tamotsu et al [2004].)

Kays and London yang meneliti bank of tube dengan susunan staggered dengan tiga variasi S_L (jarak tube arah longitudinal). Diperoleh grafik hubungan antara friction faktor dan j_H (koefisien perpindahan panas tanpa dimensi) yang menunjukkan bahwa j_H semakin naik dengan S_L yang semakin sempit dan j_H semakin turun dengan kenaikan angka Reynolds (gambar 2.4.a,b,c). Kays and London juga meneliti pada circular tube dengan sirip kontinyu (datar) dengan variasi tertentu yang didapatkan hasil bahwa j_H turun drastis pada Reynolds rendah tetapi pada Reynolds tinggi penurunan j_H tidak terlalu besar (gambar 2.4.d).



Gambar 2.4 Pengaruh angka Reynolds terhadap faktor j Colburn dan friction factor Penelitian Kays and London (1993)

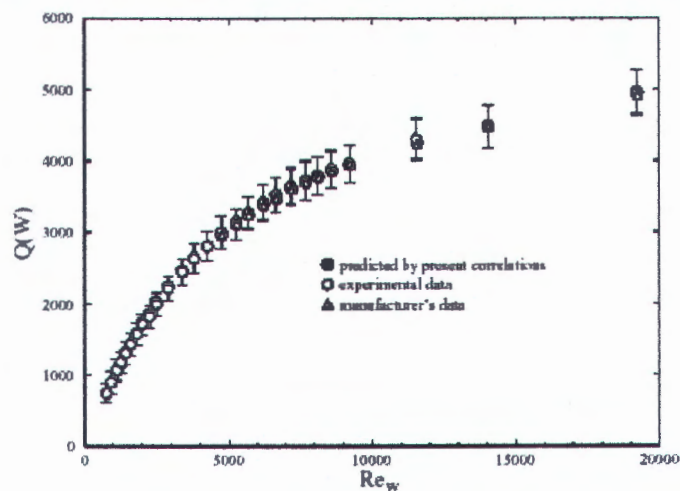
Tabel 2.1 Spesifikasi Hasil Penelitian Kays dan London untuk empat grafik diatas

Spesifikasi	Hasil Penelitian Kays dan London (Gb.2.3)			
	a	b(#1)	c(#2)	d(#3)
Diameter dalam tube (D_i)	-	-	-	-
Diameter luar tube (D_o)	10.2 mm	14.76 mm	9.84 mm	14.76 mm
Jarak Transversal (S_T)	-	22.13 mm	14.76 mm	18.46 mm
Jarak Longitudinal (S_L)	-	18.46 mm	12.3 mm	18.46 mm
Jumlah sirip (N_f)	315 /m	-	-	-
Panjang/Lebar (L_f) Sirip	-	-	-	-
Diameter hidrolis (D_h)	3.63 mm	7.56 mm	50.59 mm	3.77 mm
Tebal sirip (t_f)	0.3 mm	-	-	-
Free flow area/frontal area (σ)	0.534	0.333	0.338	0.2
Heat transfer area/total volume (α)	587 m^2/m^3	397.627 m^2/m^3	321.617 m^2/m^3	321.617 m^2/m^3
Luas sirip/luas total (A_f/A_{tot})	0.913	175.85 m^2/m^3	263.78 m^2/m^3	211.29 m^2/m^3



Dari keempat hasil penelitian Kays dan London diatas didapatkan hasil trend grafik yang hampir sama memiliki kecenderungan turun. Sesuai persamaan 2.34 dan 2.35 dapat dianalisa bahwa dengan naiknya angka Reynolds aliran, koefisien perpindahan panas konveksi dan laju alir massa fluida dingin akan naik. Namun kenaikan laju alir massa fluida dingin lebih besar dibanding kenaikan koefisien perpindahan panasnya sehingga dengan *free flow area* dan panas spesifik tekanan konstan yang relatif tetap, harga angka Stanton (St) yang menjadi gradien kurva akan cenderung turun yang berakibat turunnya faktor j Colburn dengan angka Prandtl (Pr) yang relatif tetap pula. Secara umum grafik faktor j Colburn pada angka Reynolds rendah memiliki gradien kurva yang cenderung lebih tajam daripada gradien kurva pada angka Reynold tinggi.

Zhao (1995) meneliti dalam *thesisnya* tentang unjuk kerja *single row heat exchanger* dengan laju alir massa air dalam *tube* yang rendah. Dari penelitian ini salah satunya menghasilkan laju perpindahan panas yang memiliki trend/gradien yang naik tajam terhadap angka Reynolds rendah. Namun kenaikan (gradien kurva) grafik laju perpindahan panas tersebut menjadi landai dengan bertambahnya angka Reynolds (pada angka reynolds tinggi). Hal ini dapat dilihat sesuai gambar 2.5 berikut



Gambar 2.5 Pengaruh Re terhadap Laju Perpindahan Panas

dengan $v_{udara}=1,31$ m/s, $T_{udara\ in}=21^{\circ}\text{C}$, $T_{air\ in}=54^{\circ}\text{C}$ (Zhao, 1995)

II.2 Aliran Viscous dan Non Viscous

Jika ditinjau dari efek viskositas aliran dapat dibedakan menjadi dua yaitu aliran non viscous dan aliran viscous. Suatu aliran dimana efek viskositas diabaikan disebut aliran non viscous. Pada aliran ini, viskositas absolut fluida (μ) diasumsikan nol sehingga gaya geser yang mempengaruhi aliran dianggap tidak ada. Untuk beberapa hal, gaya viscous seringkali diabaikan, sebab dapat menyederhanakan analisa tapi hasilnya beralasan dan masih dapat diterima.

Dalam kenyataannya, tidak ada fluida dengan viskositas berharga nol, artinya kondisi sesungguhnya yang terjadi adalah viskositas suatu fluida sangat mempengaruhi aliran itu sendiri dimana dalam aliran viscous akan diperhitungkan adanya *velocity gradient* dan *shear stress* sesuai rumus $\tau_{yx} = \mu(\delta u/\delta y)$, untuk aliran dua dimensi. Dengan adanya gradient kecepatan tersebut maka akan timbul lapisan batas (*boundary layer*) yang akan diterangkan selanjutnya.



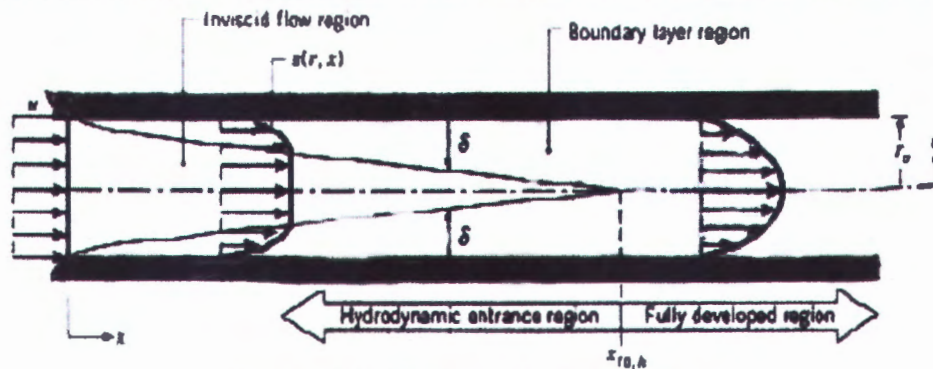
II.3 Aliran Laminar dan Turbulen

Pada aliran viscous terdapat dua macam aliran yaitu aliran laminar dan turbulen. Suatu aliran dikatakan laminar apabila struktur dari aliran yang tersusun dari partikel fluida bergerak secara halus dan berlapis-lapis. Sebaliknya jika partikel fluida bergerak secara acak, tiga dimensi dimana partikel-partikel tersebut saling mengisi pada badan aliran, maka aliran ini disebut aliran turbulen. Adanya gerakan partikel fluida yang terjadi ini menyebabkan terjadinya perpindahan momentum melalui *streamline* aliran sehingga meningkatkan tegangan geser efektif. Selain itu adanya perpindahan partikel fluida pada streamline tersebut juga menyebabkan perpindahan energi antar partikel fluida menjadi lebih cepat sehingga otomatis meningkatkan perpindahan panas.

Dengan demikian pada aliran turbulen tidak terdapat korelasi universal antara medan tegangan dan medan kecepatan rata-rata. Oleh karena itu analisisnya hanya dapat dilakukan dengan teori semi empirik dan data hasil eksperimen.

II.4 Aliran Internal dan Eksternal

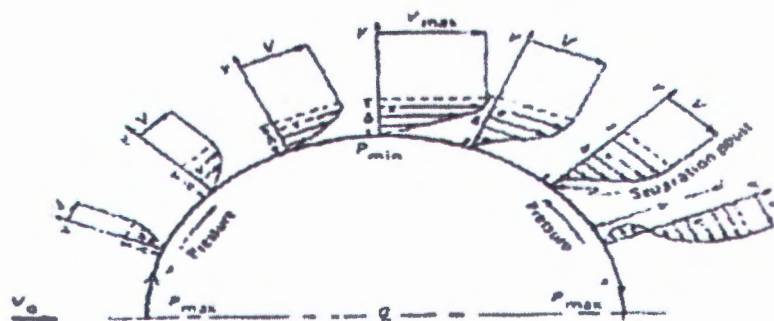
Aliran internal adalah aliran yang seluruhnya dilingkupi oleh permukaan solid yang mengelilinginya. Contoh dari aliran internal adalah aliran di dalam pipa, *diffuser*, *nozzle*, dan lain sebagainya. Berikut ini gambar aliran internal melalui pipa.



Gambar 2.6 Aliran melalui Saluran Pipa

Aliran yang akan memasuki pipa kecepatannya seragam u_∞ , kemudian profil aliran di dalam pipa menjadi tidak seragam lagi karena alirannya bersifat *viscous* sehingga akan menyebabkan terbentuknya lapisan batas yang dipengaruhi gesekan relatif besar. Lapisan batas ini akan terus berkembang sampai bertemu disatu titik. Pada kondisi ini aliran dapat dikatakan sudah berkembang penuh (*fully developed flow*).

Aliran eksternal adalah aliran yang melintasi suatu *body* yang terbenam dalam fluida tanpa batas (*immersed body*). Contoh aliran ini adalah aliran melalui semi *infinite plate* dan aliran melintasi silinder. Berikut ini adalah penggambaran aliran melalui sebuah silinder ellips.



Gambar 2.7 Aliran melalui Silinder Ellips



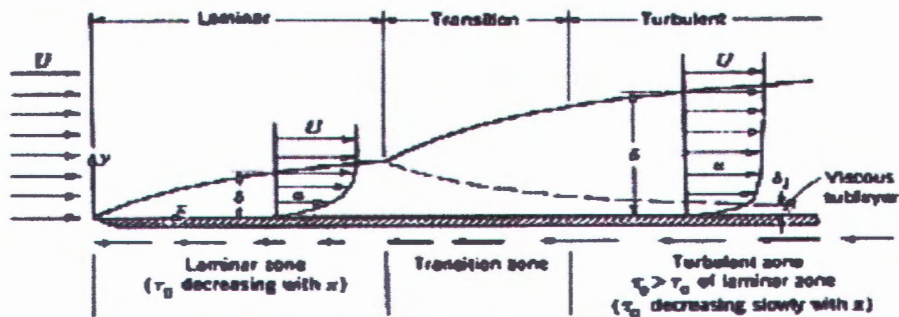
II.5 Perkembangan Lapisan Batas Aliran

Saat aliran dari *free stream* menuju suatu *body*, akan terjadi suatu kondisi dimana aliran yang semula kecepataannya uniform (u_∞) akan menjadi tidak uniform lagi sehingga terbentuk distribusi kecepatan (*velocity distribution*) karena pengaruh kontur *body* yang dilewatinya. Distribusi ini terjadi pada suatu titik dimana kecepataannya nol (*zero velocity*) pada titik di kontur itu sendiri dan semakin bertambah bila menjauhi kontur/*wall* (*finite*). Harga kecepatan yang semakin bertambah tersebut dapat kembali seperti semula yaitu kecepatan *free stream* karena *wall* tidak lagi bisa mempengaruhi aliran. Kondisi transisi dimana kecepatan fluida yang tidak sama dengan kecepatan *free stream* menjadi sama dengan *free stream* kembali terjadi pada suatu lapisan tipis (*layer*) yang dekat dengan *wall*. Oleh Prandtl (1904), lapisan ini disebut *boundary layer* atau *frictional layer* karena pada daerah ini efek friksi sangat besar. Distribusi kecepatan tersebut akan terjadi selama fluida melewati kontur *body* dengan ketebalan lapisan batas (*boundary layer*) yang semakin bertambah dari *leading edge* ke belakang.

Struktur lapisan batas aliran dapat digambarkan dengan mengamati gerakan partikel fluida. Saat mengalir di luar *boundary layer* partikel mempertahankan bentuk asalnya sambil bergerak translasi namun tidak berotasi dan efek viskositas dapat diabaikan. Kondisi dengan *zero vorticity* ini dinamakan dengan irrotational. Gangguan mulai terjadi saat partikel memasuki *boundary layer* karena adanya *velocity gradient* dan efek *viscosity*. Akibatnya selama



bergerak translasi partikel fluida juga bergerak rotasi. Dengan demikian vortisitasnya tidak sama dengan nol (*non zero vorticity*). Kondisi ini dinamakan *rotational*.



Gambar 2.8 Perkembangan Lapis Batas Aliran

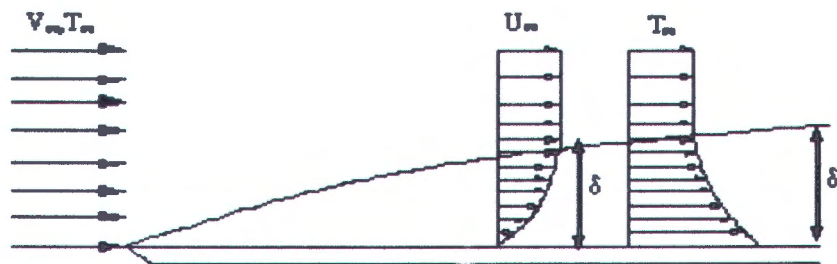
Gambar 2.8 diatas menunjukkan suatu pengembangan *boundary layer* sepanjang permukaan plat datar. Pada daerah ini terjadi dua bentuk aliran, awalnya aliran adalah laminar sepanjang jarak tertentu dari *leading edge*, kemudian terjadi suatu transisi aliran yang akhirnya akan berubah menjadi turbulen. Untuk aliran *incompressible* melewati suatu *smooth flat plate* (*zero pressure gradient*), perubahan dari laminar ke turbulen sangat dipengaruhi oleh *Reynolds Number*, $Re_x = \rho.V.x/\mu$.

II.6 Lapisan Batas Termal

Lapisan batas termal (*thermal boundary layer*) terjadi akibat adanya gradien suhu antara permukaan dengan fluida. Gradien suhu ini menimbulkan adanya perpindahan panas antara permukaan dengan fluida di dalam *boundary layer*. Seperti pada aliran melintasi plat datar yang memiliki suhu seragam. Pada saat aliran menyentuh permukaan pertama kali pada daerah *leading edge*, profil



temperatur masih uniform dimana $T(y) = T_{\infty}$. Kemudian partikel fluida yang kontak dengan permukaan mencapai keseimbangan *thermal* dengan permukaan pelat. Sehingga menyebabkan gradien suhu antara partikel fluida yang menyentuh permukaan dengan partikel fluida di atasnya. Daerah dimana ada gradien suhu disebut dengan *thermal boundary layer*. Ketebalan *boundary layer* (δ_t) untuk pelat datar dihitung untuk arah y dinyatakan sebagai perbandingan $[(T_s - T)/(T_s - T_{\infty})] = 0,99$, seperti gambar berikut ini :



Gambar 2.9 Lapisan Batas Termal

Ketebalan *boundary layer* semakin bertambah apabila semakin jauh dari *leading edge*. Pada jarak x dari *leading edge*, fluks panas lokal diperoleh dengan menggunakan *Hukum Fourier* untuk fluida pada $y=0$, yaitu :

$$q_s'' = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Persamaan tersebut dapat digunakan karena pada permukaan tidak ada gerakan fluida akibatnya perpindahan panas yang terjadi adalah melalui mekanisme konduksi antara partikel fluida dengan permukaan. Dengan menggabungkan persamaan di atas dengan *Hukum Pendinginan Newton* diperoleh :



$$h = \frac{-k_f \partial T / \partial y|_{y=0}}{T_s - T_\infty} \dots\dots\dots (2.2)$$

Karena $T_s - T_\infty$ konstan tidak terpengaruh oleh x sedangkan δ_t naik dengan kenaikan x . Akibat dari kenaikan δ_t tersebut akan menyebabkan $\partial T / \partial y|_{y=0}$ turun dengan kenaikan x yang akan diikuti oleh penurunan q_s'' dan h terhadap kenaikan x . Sehingga pada plat datar, harga perpindahan panas akan turun seiring dengan bertambahnya x .

Dengan menggunakan *boundary layer similarity*, dengan parameter tak berdimensi $y^* = y/L$ (merupakan panjang karakteristik permukaan) dan

$T^* = \frac{T - T_s}{T_\infty - T_s}$, maka persamaan 2.2 menjadi :

$$h = -\frac{k_f (T_\infty - T_s)}{L (T_s - T_\infty)} \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \Big|_{y^*=0} = + \frac{k_f}{L} \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \Big|_{y^*=0} \dots\dots\dots (2.3)$$

dari persamaan diatas, parameter dependent tak berdimensi membentuk *Nusselt number*. *Nusselt number (Nu)* menyatakan gradien suhu tak berdimensi pada permukaan sesuai persamaan berikut :

$$Nu = \frac{h.L}{k_f} = + \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \Big|_{y^*=0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk geometri permukaan yang telah ditentukan (*prescribed geometry*) dan untuk analisa rata-rata, maka angka Nusselt reratanya adalah sebagai berikut :

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}.L}{k_f} = f(Re, Pr, x^*) \dots\dots\dots (2.5)$$

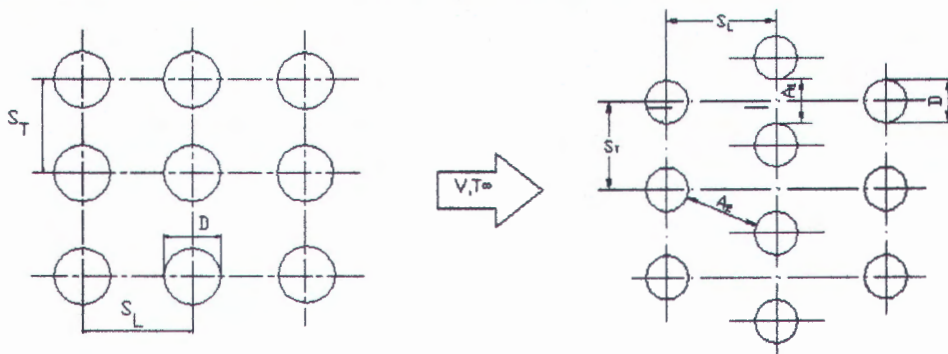
Angka Nusselt rerata (\overline{Nu}) merupakan fungsi dari angka Reynolds (Re), sifat



aliran (Pr), dan faktor geometri permukaan (x^*) dalam bentuk konstanta.

II.7 Aliran Melintasi Susunan Pembuluh

Ada dua konfigurasi pembuluh (*tube*) yang biasa digunakan yaitu *staggered* dan *aligned*. Dengan kecepatan fluida v dan T_∞ yang melintasi susunan tube *aligned* seperti ditunjukkan gambar 2.10 dibawah ini :

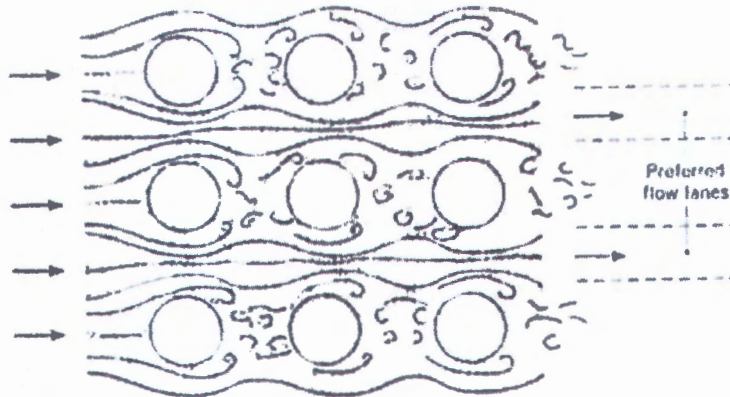


Gambar 2.10 Konfigurasi pembuluh *Aligned dan Staggered*

Karakteristik konfigurasi dipengaruhi oleh dipengaruhi oleh diameter pembuluh (D), jarak transversal (S_T) dan jarak longitudinal (S_L) yang diukur dari titik tengah *tube*. Kondisi aliran yang melintasi susunan pembuluh didominasi oleh pengaruh separasi *boundary layer* dan olakan fluida, dimana hal ini akan mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi. Koefisien perpindahan panas yang melintasi susunan pembuluh tergantung pada posisi pembuluh, dimana untuk pembuluh pada baris pertama hampir sama dengan pembuluh tunggal untuk aliran melintang (*cross flow*). Koefisien perpindahan panas yang lebih besar akan terjadi pada baris sebelah dalam akibat adanya pengaruh fluida yang terolak oleh

susunan pembuluh (*tube*) yang ada didepannya.

Kondisi aliran yang melewati susunan pembuluh *aligned* ditunjukkan gambar 2.11, sebagai berikut :



Gambar 2.11 Aliran melintasi susunan pembuluh *aligned*

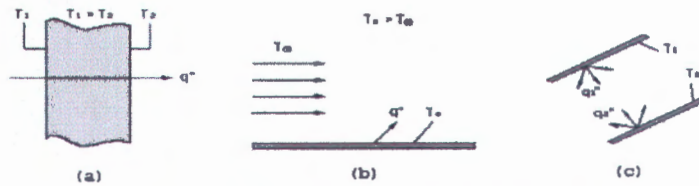
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa aliran fluida yang memasuki *row* kedua dan seterusnya terolak oleh susunan pembuluh (*tube*) yang ada didepannya. Dengan terolaknya aliran fluida tersebut, kecepatan fluida yang mengalir didalamnya menjadi bertambah sehingga tentu akan menaikkan angka Reynold yang ada didalamnya yang berakibat pada naiknya koefisien perpindahan panas konveksi fluida yang mengalir dengan laju alir massa tertentu.

II.8 Prinsip Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai proses berpindahnya energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu dimana arah perpindahan terjadi dari benda yang mempunyai temperatur tinggi ke benda yang mempunyai temperatur lebih rendah. Secara umum mekanisme perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga , yaitu : konduksi, konveksi dan radiasi, perbedaan skematis proses perpindahan



panas tersebut dapat dilihat pada gambar 2.12 seperti berikut ini :



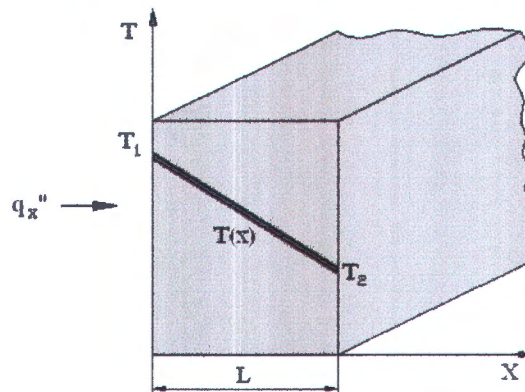
Gambar 2.12 Skema Proses Perpindahan Panas :

- a. Konduksi
- b. Konveksi
- c. Radiasi

II.8.1 Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu media (padat, cair, dan gas) atau beberapa media berlainan yang bersinggungan secara langsung dan tidak ada gerak relatif antara kedua media tersebut.

Konduksi bisa dipandang sebagai perpindahan energi dari partikel yang lebih energik ke partikel yang kurang energik akibat interaksi antar partikel. Mekanisme fisik konduksi ditandai dengan aktivitas molekuler didalam bentuk getaran kisi (*lattice vibrations*) atau difusi energi akibat dari pergerakan acak molekular.



Gambar 2.13 Distribusi Suhu pada Dinding

II.8.1.1. Konduksi Satu Dimensi pada Dinding Datar

Besarnya laju perpindahan panas konduksi ditentukan dengan menggunakan rumusan hukum Fourier, dimana untuk dinding datar satu dimensi (gambar 2.13)

Fourier menyatakan sebagai berikut :

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

q_x'' : laju perpindahan panas konduksi ke arah x (W/m^2)

k : konduktivitas thermal material ($W/m.K$)

$\frac{dT}{dx}$: gradient suhu yang terjadi pada penampang (K/m)

Seperti kondisi yang ditunjukkan gambar 2.13, dimana distribusi temperatur adalah linear, maka gradient suhu dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga laju perpindahan panas dinyatakan sebagai berikut :

$$q_x = -k.A.\frac{(T_2 - T_1)}{L} \dots\dots\dots (2.8)$$

II.8.1.2 Konduksi pada Silinder

Bila terjadi perbedaan suhu antara permukaan dinding dalam dan dinding luar pada silinder berlubang, maka perpindahan panas akan terjadi dalam arah radial. Dalam arah ini luas penampang yang tegak lurus berubah sebagai fungsi jari-jari silinder yaitu :

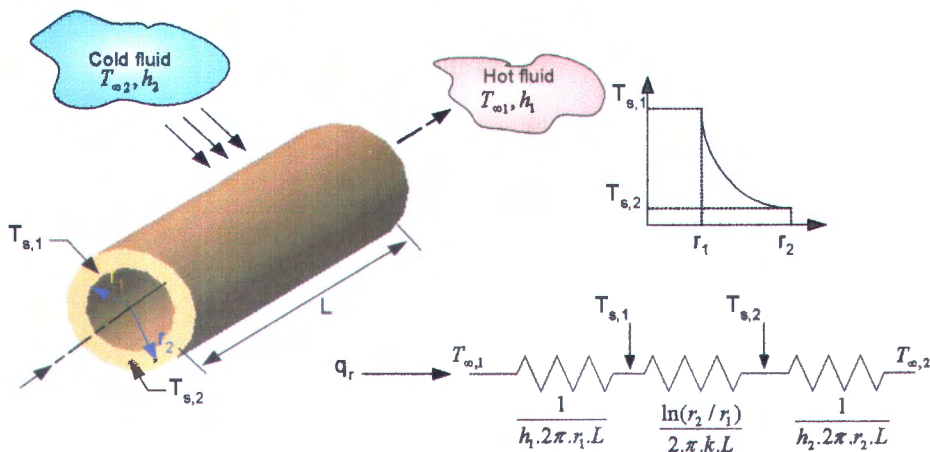
$$A = 2.\pi.r.L \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

A : luas penampang perpindahan panas (m²)

r : jari-jari silinder (m)

L : panjang silinder (m)



Gambar 2.14 Konduksi pada silinder

Besarnya perpindahan panas ke arah radial dapat ditentukan menggunakan persamaan :



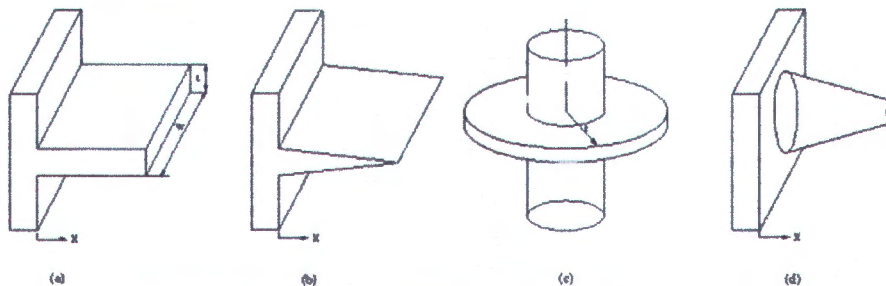
$$q_r = -k.A.\frac{dT}{dr} = -k.(2.\pi.r.L).\frac{dT}{dr} \dots\dots\dots (2.10)$$

Laju perpindahan panas untuk silinder berongga dengan suhu sisi dalam dan sisi luar yang berbeda, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q_r = \frac{2.\pi.L.k.(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2 / r_1)} \dots\dots\dots (2.11)$$

II.8.1.3 Perpindahan panas dari permukaan yang diperluas

Istilah permukaan yang diperluas (*extended surface*) biasanya digunakan untuk menunjukkan zat padat yang mengalami perpindahan panas konduksi di dalam batasan benda tersebut dan perpindahan panas konveksi dengan fluida sekelilingnya. Permukaan yang diperluas ini lebih dikenal sebagai sirip (*fin*). Beberapa contoh konfigurasi sirip yang dipakai antara lain seperti yang ditunjukkan gambar berikut :



Gambar 2.15 Konfigurasi sirip, antara lain :

- (a) Sirip Lurus dengan Penampang Melintang Seragam
- (b) Sirip Lurus dengan Penampang Melintang tidak Seragam
- (c) Sirip Berbentuk Ring
- (d) Sirip Paku

Sirip digunakan untuk menambah luas permukaan kontak/singgung perpindahan panas sehingga meningkatkan laju perpindahan panas dari permukaan ke fluida



sekeliling. Untuk menentukan laju perpindahan panas yang berhubungan dengan sirip maka perlu didapatkan distribusi suhu sepanjang sirip. Ada empat persamaan distribusi suhu sirip dengan batasannya masing-masing, yaitu :

1. Terjadi perpindahan panas konveksi di ujung sirip; $h\theta_{(L)} = -k \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L}$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \dots\dots\dots (2.12)$$

2. Kondisi ujung sirip adiabatik; $\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L} = 0$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \dots\dots\dots (2.13)$$

3. Suhu pangkal dan ujung sirip diketahui; $\theta(L) = \theta_L$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{(\theta_L / \theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL} \dots\dots\dots (2.14)$$

4. Panjang sirip tak berhingga; $(L \rightarrow \infty)$, $\theta(L) = 0$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = e^{-mx} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

$$\theta = T - T_\infty \quad ; \quad \theta_b = T_b - T_\infty \quad ; \quad m = \sqrt{\frac{h.P}{k.A_c}}$$

II.8.2. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi bila ada perbedaan suhu antara permukaan suatu benda padat dengan fluida bergerak yang melintas di atas permukaan tersebut. Perpindahan panas konveksi dinyatakan dengan hukum

Pendinginan Newton melalui persamaan :

$$q_c = \bar{h}.A.(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2.16)$$

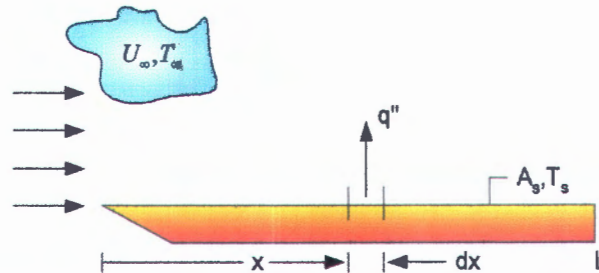
dengan :

q_c : laju perpindahan panas konveksi (W)

\bar{h} : koefisien konveksi rerata ($W/m^2.K$)

T_s : suhu permukaan (K)

T_∞ : suhu fluida aliran bebas (K)



Gambar 2.16 Perpindahan panas Konveksi melintasi Plat Datar

Pada suatu permukaan, besarnya koefisien konveksi tidak konstan tetapi berubah-ubah sepanjang daerah perpindahan panas. Untuk itu dikenal istilah koefisien perpindahan panas konveksi lokal yang menyatakan nilai koefisien ini di posisi tertentu pada permukaan perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas konveksi rerata merupakan nilai rata-rata koefisien perpindahan panas konveksi lokal pada seluruh permukaan. Kedua jenis koefisien ini dihubungkan dengan persamaan :



$$\bar{h} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h \cdot dA_s \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Dalam kasus perpindahan panas konveksi pada plat datar (gambar 2.11), koefisien perpindahan panas konveksi ini bervariasi sepanjang jarak x dari leading edge. Harga koefisien perpindahan panas konveksi reratanya dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h \cdot dx \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Ditinjau dari gerakan fluida, konveksi dapat dibagi menjadi dua yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas. Batasan yang digunakan untuk membedakan kedua jenis konveksi tersebut adalah dengan membandingkan bilangan Grashof, yang merupakan perbandingan antara gaya apung (*buoyancy force*) dengan gaya viscous terhadap kuadrat bilangan Reynolds sebagai perbandingan antara gaya inersia dengan gaya viscous seperti batasan berikut :

- $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$, perpindahan panas terjadi secara konveksi paksa.
- $\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$, perpindahan panas terjadi secara konveksi bebas.

Dengan angka *Grashof* (Gr) dan *Reynold* (Re) sebagai berikut :

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan :

g = percepatan gravitasi (m/s²)

β = koefisien muai panas volumetric (1/K)



T_s = suhu permukaan (K)

T_∞ = temperatur udara sekeliling (K)

L = panjang karakteristik aliran (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

$$Re_D = \frac{v \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan :

v = kecepatan aliran udara

D = diameter

Sehingga dari batasan diatas dapat disimpulkan perbedaan kedua jenis konveksi sebagai berikut :

1. Konveksi paksa (*forced convection*)

Konveksi paksa terjadi karena pengaruh gaya inersia terhadap gerakan fluida jauh lebih besar dibanding dengan gaya apung (*buoyancy force*) fluida, sehingga harga koefisien perpindahan panas konveksi (h) lebih didominasi pengaruh dari kecepatan relatif aliran dengan permukaan. Gaya inersia ini bisa ditimbulkan oleh gaya luar seperti *fan*, *blower*, dll.

2. Konveksi bebas (*free convection*)

Konveksi bebas terjadi karena pengaruh gaya apung (*buoyancy force*) terhadap gerakan fluida jauh lebih besar dibanding dengan gaya inersianya. Gaya apung ini timbul akibat adanya perbedaan densitas partikel fluida. Gaya apung yang menyebabkan arus konveksi bebas disebut gaya badan (*body force*).



Apabila pada suatu kasus jika pengaruh antara gaya inersia dengan gaya apung fluida berimbang ($Gr/Re^2 \approx 1$), maka perpindahan panas yang terjadi adalah kombinasi/gabungan antara konveksi bebas dan konveksi paksa.

II.8.3. Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan energi (panas) dari suatu permukaan benda bertemperatur lebih tinggi yang memiliki *emisivitas* tertentu ke permukaan di sekitarnya yang bertemperatur lebih rendah melalui pancaran gelombang elektromagnetik ke sekitarnya. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara. Fluks panas yang diemisikan suatu permukaan dapat dicari dengan persamaan (2.21) :

$$q'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana :

ε = emisivitas panas

σ = konstanta Stefan Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^2$)

T_s = Suhu permukaan (K)

T_{sur} = Suhu permukaan sekeliling (K)

Biasanya dalam radiasi berlangsung juga konveksi, sebagai fluida rambatan.

II.9 Konsep Keseimbangan Energi

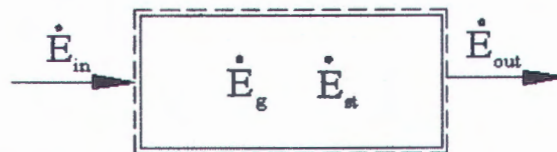
Hukum I Thermodinamika menyatakan bahwa zat mempunyai energi dan energi tersebut bersifat kekal (lestari). Dengan berpegang pada volume atur, hukum kekekalan energi yang sangat berguna pada analisa perpindahan panas



dapat dinyatakan sebagai berikut:

“ Laju energi panas dan mekanik yang memasuki volume atur, ditambah laju energi panas yang dibangkitkan di dalam volume atur, dikurangi laju energi thermal dan mekanik yang meninggalkan volume atur harus sama dengan laju pertambahan energi yang tersimpan di dalam volume atur” .

Penggunaan hukum kekekalan energi pada sistem ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.17 Skema konsep keseimbangan energi

Dari keseimbangan energi tersebut dapat diperoleh korelasi sebagai berikut :

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan :

\dot{E}_{in} = Energi masuk ke sistem

\dot{E}_{out} = Energi keluar sistem

\dot{E}_{st} = Energi tersimpan dalam sistem

\dot{E}_g = Energi bangkitan (panas yang dibangkitkan oleh pemanas)

II.9.1 Fluks Panas Bangkitan oleh Pemanas (*heater*)

Sumber energi thermal yang digunakan untuk menghasilkan panas bangkitan adalah konversi dari energi listrik yang terjadi akibat tahanan panas



ketika arus listrik mengalir melalui sebuah konduktor. Hal ini terjadi ketika arus listrik I melewati sebuah tahanan R pada kontrol volume, energi listrik didisipasikan menjadi laju I^2R dimana $I \cdot R = V$, V adalah tegangan listrik. sehingga energi listrik adalah $I \cdot V$ yang berhubungan dengan laju energi panas yang dibangkitkan (\dot{E}_g).

Untuk menghasilkan panas bangkitan pada model digunakan suatu *heater* dengan mengasumsikan tahanan *heater* konstan. Adapun persamaan hubungannya adalah sebagai berikut :

$$\frac{\dot{E}_g}{A} = \frac{IV}{A} = q'' \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan :

A = luas permukaan pelepasan panas total

q'' = fluks panas bangkitan oleh *heater*

II.9.2 Panas yang diterima oleh Udara (\dot{E}_{out})

Laju perpindahan panas yang terjadi dalam susunan pembuluh dan sirip ini adalah besarnya panas yang dapat diterima oleh udara sebagai fluida dingin.

Untuk kasus ini digunakan persamaan:

$$q = \dot{m}_c (h_{c,o} - h_{c,i}) \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan :

\dot{m}_c = laju alir massa fluida dingin (udara) (kg/s)

$h_{c,o}$ = enthalpi fluida keluaran (J/kg)



\dot{m}_c = laju alir massa fluida dingin (udara) (kg/s)

$h_{c,o}$ = enthalpi fluida keluaran (J/kg)

$h_{c,i}$ = enthalpi fluida masukan (J/kg)

Jika fluida tidak mengalami perubahan fase dan mempunyai panas spesifik konstan maka persamaan diatas dapat dituliskan

$$q_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan :

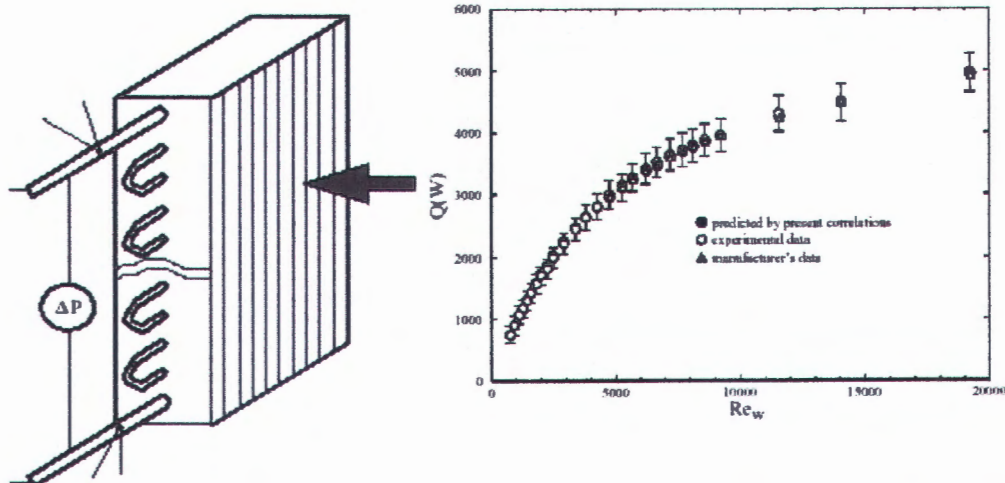
\dot{m}_c = laju alir massa fluida dingin (udara) (kg/s)

$c_{p,c}$ = panas spesifik tekanan konstan (J/kg.K)

$T_{c,i}$ = suhu udara masuk (K)

$T_{c,o}$ = suhu udara keluar (K)

Penelitian sebelumnya tentang pengaruh angka Reynolds (Re) terhadap laju perpindahan panas antara lain oleh Zhao (1995) meneliti dalam *thesisnya* tentang unjuk kerja *single row heat exchanger* dengan laju alir massa air dalam *tube* yang rendah. Dari penelitian ini salah satunya menghasilkan laju perpindahan panas yang memiliki trend/gradien yang naik tajam terhadap angka Reynold rendah. Namun kenaikan (gradien kurva) grafik laju perpindahan panas tersebut menjadi landai dengan bertambahnya angka Reynold (pada angka reynold tinggi). Hal ini dapat dilihat sesuai gambar 2.18 berikut ini :



Gambar 2.18 Pengaruh Re terhadap laju perpindahan panas dengan $v_{udara}=1,31$ m/s, $T_{udara\ in}=21^{\circ}C$, $T_{air\ in}=54^{\circ}C$ pada *single row heat exchanger* (Zhao, 1995)

II.10 Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas konveksi dari permukaan sirip dan tube dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$q_c = \bar{h}A_{tot}(\bar{T}_{ex} - \bar{T}_{\infty}) \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan :

\bar{h} = koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata.

A_{tot} = luasan total permukaan perpindahan panas.

\bar{T}_{∞} = temperatur udara rata-rata.

\bar{T}_{ex} = temperatur rerata permukaan luar penukar panas.

Karena suhu permukaan luar penukar panas bervariasi dari titik ke titik



ukur yang lain, maka perlu ditaksir harga rerata suhu permukaan luar berdasarkan luas permukaan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{T}_{ex} = (A_b \bar{T}_b + A_f \bar{T}_f) / A_{tot} \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan :

\bar{T}_b = suhu permukaan luar pembuluh rerata.

\bar{T}_f = suhu permukaan luar sirip rerata.

A_f = luas permukaan perpindahan panas sirip.

A_b = luas permukaan perpindahan panas pembuluh.

II.11 Unjuk Kerja Sirip

Untuk meningkatkan laju perpindahan panas dari penukar panas (*heat exchanger*), salah satu cara yang dapat dipergunakan adalah memperluas permukaan perpindahan panas dengan ditambahkan sirip. Akan tetapi sirip juga mempunyai tahanan konduksi pada permukaan yang memanjang yang akan menghambat laju perpindahan panas dari penukar panas (*heat exchanger*). Oleh karena itu, untuk mendesain sirip perlu mempertimbangkan material bahan sirip, geometri sirip, dan lingkungan dimana sirip tersebut digunakan. Material bahan sirip haruslah memiliki konduktivitas thermal yang tinggi, serta perlu dipertimbangkan untuk mengefektifkan luasan sirip. Sebab sirip yang memiliki luasan perpindahan panas total yang besar belum tentu semua luasannya berfungsi secara efektif. Untuk mengevaluasi unjuk kerja sirip dapat diketahui dari seberapa besar *efisiensi sirip* (η_f) yang didefinisikan dalam persamaan dibawah ini.



$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{\max}} = \frac{\bar{h}.A_f.(\bar{T}_f - \bar{T}_\infty)}{\bar{h}.A_f.(\bar{T}_b - \bar{T}_\infty)} = \frac{(\bar{T}_f - \bar{T}_\infty)}{(\bar{T}_b - \bar{T}_\infty)} \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan :

η_f = efisiensi sirip tunggal (*single fin*)

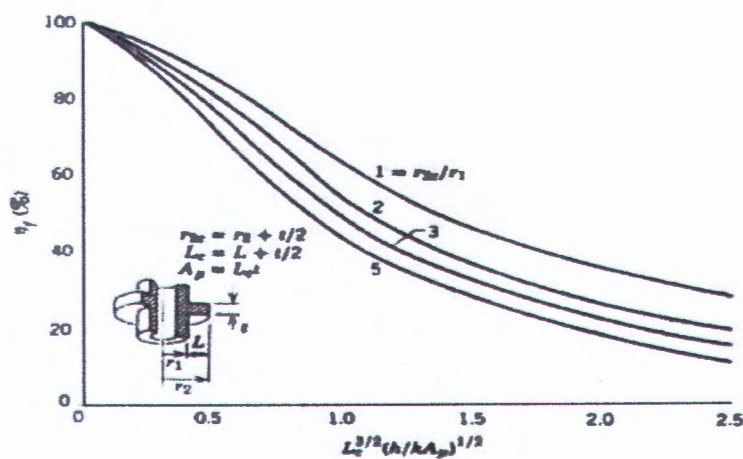
q_f = laju perpindahan panas sirip tunggal

q_{\max} = laju perpindahan panas maksimum

\bar{T}_f = suhu sirip rerata

\bar{T}_b = suhu pembuluh rerata

Dari persamaan diatas dapat diketahui seberapa besar perbandingan panas aktual yang dihantarkan melalui satu sirip terhadap kondisi maksimalnya dimana suhu sirip sama dengan suhu pangkalnya (*base*), sehingga diketahui seberapa besar peran luasan satu sirip dalam menghantarkan panas. Bentuk grafik efisiensi sirip sebagai fungsi $L_c^{3/2} \left(\frac{h}{k.A_p} \right)^{1/2}$ dengan panjang karakteristik sirip L_c , dan luas profil sirip A_p untuk *circular fin* adalah sebagai berikut :





Gambar 2.19 Pengaruh $L_c^{3/2} \left(\frac{h}{k.A_p}\right)^{1/2}$ terhadap efisiensi sirip untuk *circular fin* (Incropera and Dewit, 1999)

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung efisiensi dari satu sirip (*single fin*). Karena pada penukar panas tersusun dari banyak sirip, maka efisiensi yang digunakan adalah *overall surface efficiency* yang merupakan gabungan bagian permukaan yang tidak bersirip (*unfinned area*) yang berefisiensi 100% dengan luas permukaan sirip-sirip yang berefisiensi η_f . Secara umum dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_o = \frac{q_{tot}}{q_{max}} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana q_{tot} adalah laju perpindahan panas total dari luas permukaan perpindahan panas total (A_{tot}) yang meliputi luas permukaan perpindahan panas sirip (A_f) dan luas permukaan perpindahan panas pembuluh tanpa sirip (A_t).

Laju perpindahan panas total dari permukaan penukar panas (permukaan dengan fin dan tanpa fin) adalah :

$$q_t = \eta_f \bar{h} N_f A_f (\bar{T}_t - \bar{T}_\infty) + \bar{h} A_t (\bar{T}_t - \bar{T}_\infty) \dots\dots\dots (2.30)$$

Jika koefisien perpindahan panas konveksi (h) diasumsikan seragam pada permukaan penukar panas, maka persamaan (2.30) menjadi :

$$q_t = \left(1 - \frac{N_f A_f}{A_t} (1 - \eta_f)\right) \bar{h} A_t (\bar{T}_t - \bar{T}_\infty) \dots\dots\dots (2.31)$$

Sedangkan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi apabila





seluruh permukaan perpindahan panas mempunyai temperatur dasar (pembuluh/tube), yaitu :

$$q_{mak} = \bar{h}A_{tot}(\bar{T}_t - \bar{T}_\infty) \dots\dots\dots (2.32)$$

Bila persamaan 2.31 dan 2.32 disubstitusikan ke persamaan 2.29 didapatkan *overall surface efficiency* (η_o) yang dapat dipergunakan untuk menghitung efisiensi penukar panas, yaitu sebagai berikut :

$$\eta_o = 1 - \frac{N_f \cdot A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \dots\dots\dots (2.33)$$

Sehingga dengan mengetahui harga η_o , laju perpindahan panas total dari susunan sirip dapat diketahui.

II.12 Korelasi Perpindahan Panas dengan Faktor j Colburn (j_H)

Hasil dari perpindahan panas dihubungkan dengan faktor j Colburn (j_H) dan Reynolds number diformulasikan dalam persamaan dibawah ini :

$$j_H = St \cdot Pr^{2/3} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$St = \frac{h \cdot A_{ff}}{\dot{m} \cdot c_p} \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan :

j_H = faktor j Colburn

St = angka Stanton

Pr = angka Prandtl

h = koefisien perpindahan panas konveksi udara

A_{ff} = *cross sectional area* yang tegak lurus terhadap arah aliran



\dot{m} = laju alir massa udara

c_p = panas spesifik tekanan konstan

$$Re = \frac{G \cdot D_h}{\mu} \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan :

Re = angka Reynolds

G = maximum mass velocity

Dh = diameter hidrolis aliran

μ = viskositas absolut udara

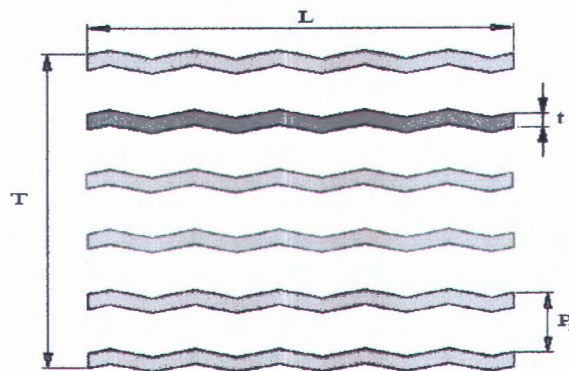
sedangkan maximum mass velocity (G) :

$$G = \rho \cdot V_{\max} = \frac{\rho \cdot V \cdot A_{ff}}{A_{ff}} = \frac{\dot{m}}{A_{ff}} = \frac{\dot{m}}{\sigma \cdot A_{ff}} \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan :

A_{ff} = frontal area dari penukar panas

σ = perbandingan antara A_{ff} terhadap A_{ff}



Gambar 2.20 Susunan sirip

Untuk benda uji seperti gambar 2.20 maka D_h dapat dirumuskan sebagai berikut:



$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4.(L.T - n.L.t)}{[(P_f - t) + L].2.(n - 1)} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan :

n = jumlah sirip

L = panjang sirip

T = jarak *baffle* yang terpasang sirip

t = tebal sirip

P_f = jarak antar sirip

Koefisien perpindahan panas untuk *compact heat exchanger* pada sisi luar tube dapat dituliskan:

$$h = j_H \frac{G.c_p}{Pr^{2/3}} \dots\dots\dots (2.39)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III. 1 VARIABEL PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian perlu diketahui variabel – variabel yang berpengaruh dalam suatu eksperimen dalam bentuk bilangan tak berdimensi, yang dapat dilakukan dengan analisa dimensi dengan tujuan untuk mengetahui variabel apa saja yang mempengaruhi karakteristik Heat Exchanger.

Langkah – langkah analisa dimensi adalah sebagai berikut :

Menentukan parameter parameter yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas :

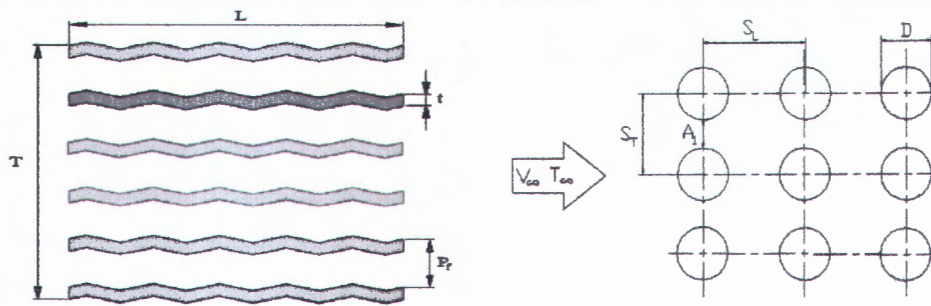
$$h = f(\mu, k, \rho, V, D_h, p_f, Nu, Re, Pr, q, \Delta T, \Delta P)$$

Jumlah parameter (n) = 11 parameter

Parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada table 1

Tabel 1. Parameter berdimensi yang berpengaruh .

Variabel	Unit	Dimensi
q = laju perpindahan panas	W	ML ² /T ³
ΔT= Selisih temperatur	(⁰ C)	T
V = Kecepatan aliran udara	(m / s)	L/t
D _h = Diameter hidrolis	(mm)	L
p _f = Jarak antar fin	(mm)	L
ρ = Massa jenis udara	(kg/m ³)	M/L ³
μ = Viskositas absolute udara	(Ns/ m ²)	M/Lt
k = Konduktivitas thermal	(W/m K)	M/t ³ T
A = Luas permukaan	(mm)	L
h = Koefisien perpindahan panas	(W/m ² K)	ML/t ³ T
ΔP= Perubahan tekanan	(N/m ²)	M/Lt ²



Dari analisa Pi – Buchingham teori diperoleh :

$$1. \Pi_1 = \frac{q}{\rho V^3 D_h^2}$$

$$2. \Pi_2 = \frac{\mu}{\rho V D_h}$$

$$3. \Pi_3 = \frac{kT}{\rho V^3 D_h}$$

$$4. \Pi_4 = \frac{hT}{\rho V^2}$$

$$5. \Pi_5 = \frac{\Delta P}{\rho V^2}$$

$$6. \Pi_6 = \frac{A}{D_h^2}$$

$$7. \Pi_7 = \frac{p_f}{D_h}$$

Karena pada pengujian ΔP tidak diukur maka didapat hubungan antar parameter :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_6, \Pi_7)$$

Dari $\Pi_2 \dots \Pi_6$ dapat dibentuk grup tanpa dimensi lain sehingga didapat grup tanpa dimensi yang umum dikenal :

$$\Pi_8 = \frac{\Pi_4}{\Pi_3} = \frac{\frac{hT}{\rho V^2}}{\frac{kT}{\rho V^3 D_h}} = \frac{hD_h}{k} \text{ (Nusselt Number)}$$



$$\Pi_9 = \frac{\Pi_5 \Pi_2}{\Pi_3} = \frac{\frac{c_p T}{V^2} \frac{\mu}{\rho V D}}{\frac{k T}{\rho V^3 D}} = \frac{c_p \mu}{k} \text{ (Prandtl Number)}$$

Dengan demikian di dapatkan :

$$\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9)$$

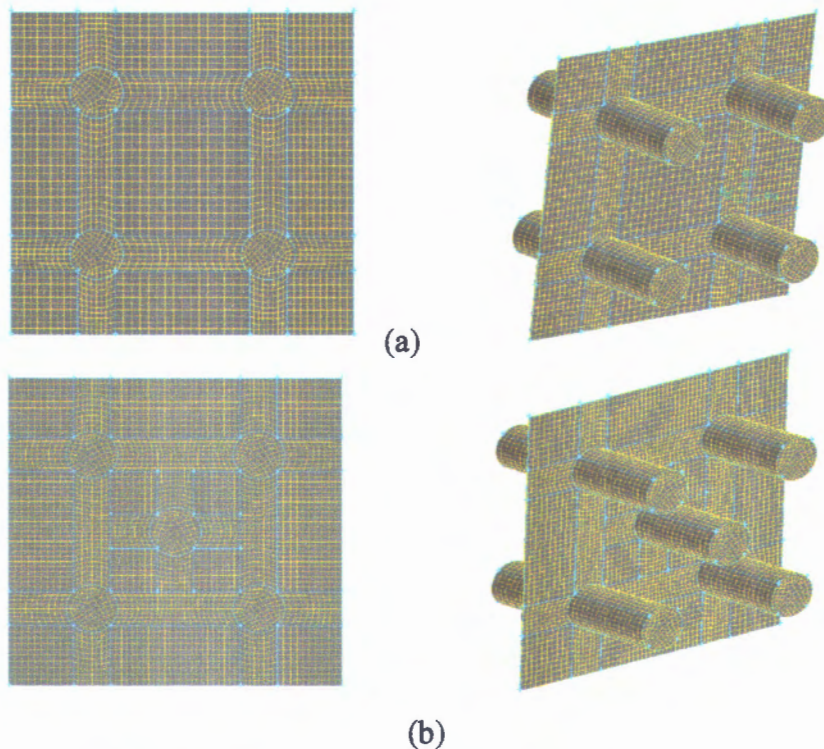
Dalam prakteknya Nusselt number dan Prandtl number baru dapat diketahui setelah percobaan yaitu setelah dilakukan perhitungan data, sehingga yang terlibat langsung dalam percobaan $\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_6, \Pi_7)$

III.2 Metode Numerik

Untuk Metode Numerik, penelitian akan dilakukan dengan pemodelan computational aliran konveksi paksa (forced convection) 3-D dengan tahapan prosedur sebagai berikut :

1. **Pembuatan model** dengan menggunakan software Gambit. Model dibuat dengan mengikuti struktur dan dimensi dari model uji.
2. **Meshing**

Meshing dari model dengan menggunakan software Gambit, dimana meshing dilakukan dengan pembuatan grid yang lebih kecil didaerah permukaan tube dan fin sedangkan grid yang lebih besar pada daerah diluarnya. Ukuran grid yang lebih kecil dipermukaan tube dan fin dimaksudkan agar dapat mengikuti perubahan property udara yang terjadi didaerah tersebut sedangkan ukuran grid yang lebih besar diluar daerah tersebut dimaksudkan untuk menghemat memori dari computer dan konvergensi dapat cepat dicapai.



Gambar 3.11 Bentuk grid pada meshing Model, (a) Susunan Alined, (b) Susunan Staggerred

3. Boundary Condition

Pemberian defenisi Boundary Condition dengan software Gambit. Pemberian Boundary Condition dilakukan setelah meshing dari masing – masing komponen dari model sebagai berikut :

- a. Setiap tube dan fin didefenisikan sebagai wall. Diambil batasan wall karena didalam defenisi boundary condition terdapat batasan temperature (isothermal), dimana data yang diambil dari hasil eksperimen berupa heat flux pada permukaan tube dan fin.
- b. Dinding wind tunnel didefenisikan sebagai simetri supaya pengaruh gesekan (friction) dapat diabaikan.

Hasil meshing uji coba simulasi numeric untuk susunan tube alined dan staggerred dengan penerapan model uji tersebut ditunjukkan pada gambar 3.10 dengan boundary condition sebagai berikut :

1. Tube; Isothermal dengan Heat flux (q'') = 4458.5987 W/m² untuk



susunan tube aligned dan Heat flux (q'') = 2523.1286 W/m² untuk susunan tube staggered.

2. Isolated wall; wall thickness = 0.003 m
3. Temperatur udara masuk = 26^o C = 299 K
4. Properties udara :
 - $\rho = 1.104125 \text{ Kg/m}^3$
 - $C_p = 1007.6884 \text{ J/Kg.K}$
 - Konduktivitas Thermal (K) = 27.57354 W/m.K
5. Gaya Gravitasi ; $g = 0$
6. Gage Pressure = 0

□ Perhitungan Data

Dari data yang diperoleh dari pemodelan numerik kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

1. Menghitung temperatur rata-rata:

- Temperatur tube rata-rata (\bar{T}_t):

$$\bar{T}_t = \frac{T_{t1} + T_{t2}}{2}$$

- Temperatur sirip rata-rata (\bar{T}_f):

$$\bar{T}_f = \frac{T_{f1} + T_{f2} + T_{f3} + T_{f4}}{4}$$

- Temperatur udara rata-rata (\bar{T}_u):

$$\bar{T}_u = \frac{T_{uo} - T_{ui}}{2}$$

2. Menghitung laju perpindahan panas yang diterima udara (q_u):

$$q_u = V.I$$



3. Menghitung fluks panas(q''):

$$q'' = \frac{q_u}{A_{tot}}$$

4. Menghitung koefisien perpindahan panas konveksi rerata (\bar{h}):

$$\bar{h} = \frac{q''}{T_{ex} - T_{\infty}}, \text{ dimana } T_{ex} = \frac{\bar{T}_t.A_t + \bar{T}_f.A_f}{(A_t + A_f)}$$

5. Menghitung Nusselt number (Nu):

$$Nu = \frac{h.D_h}{k}$$

6. Menghitung efisiensi sirip (η_f):

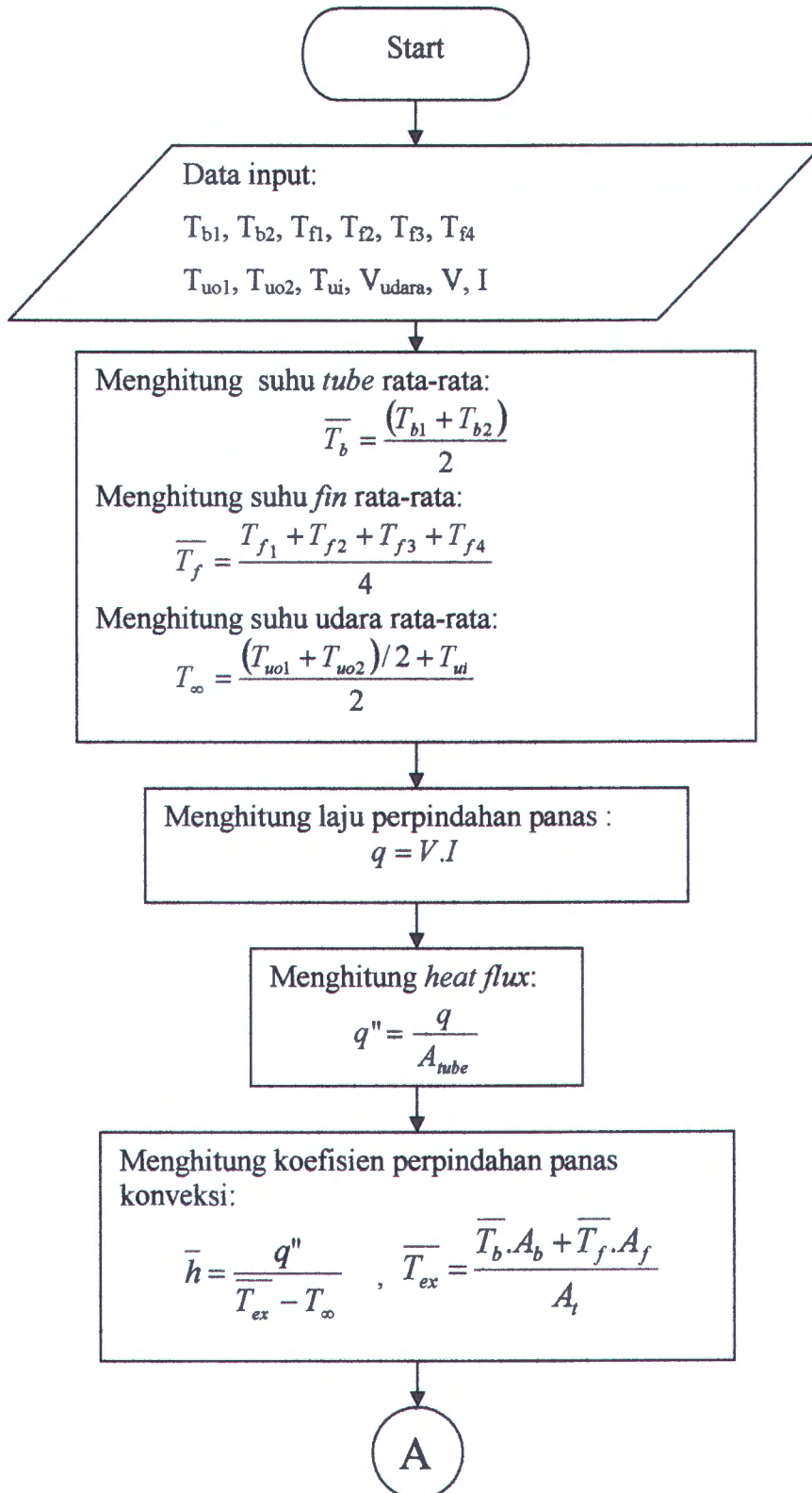
$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{\bar{h}A_f(\bar{T}_f - T_{\infty})}{\bar{h}A_f(\bar{T}_t - T_{\infty})}$$

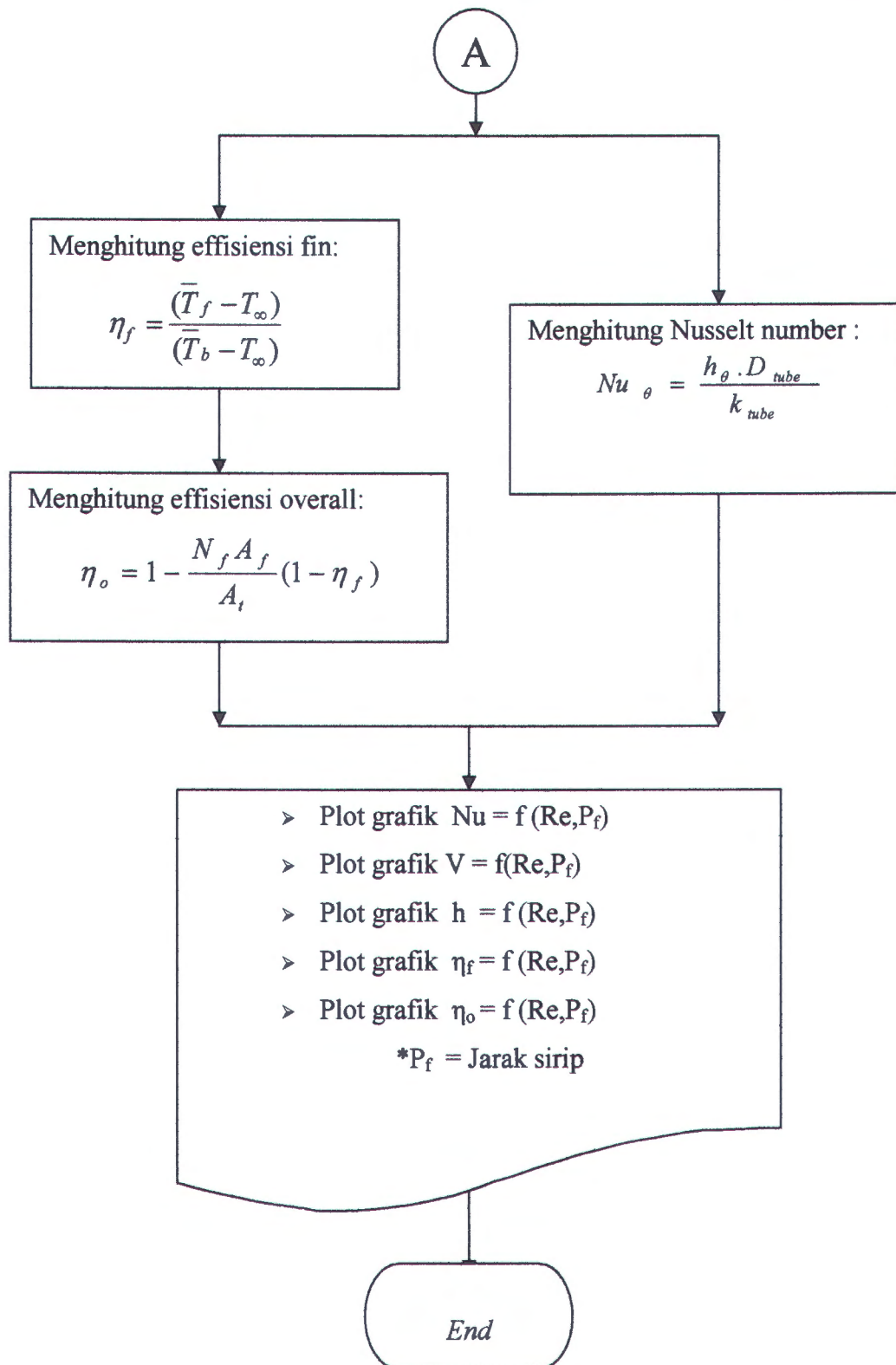
7. Menghitung efisiensi permukaan menyeluruh (η_o):

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_t}(1 - \eta_f)$$



Diagram Alir Perhitungan





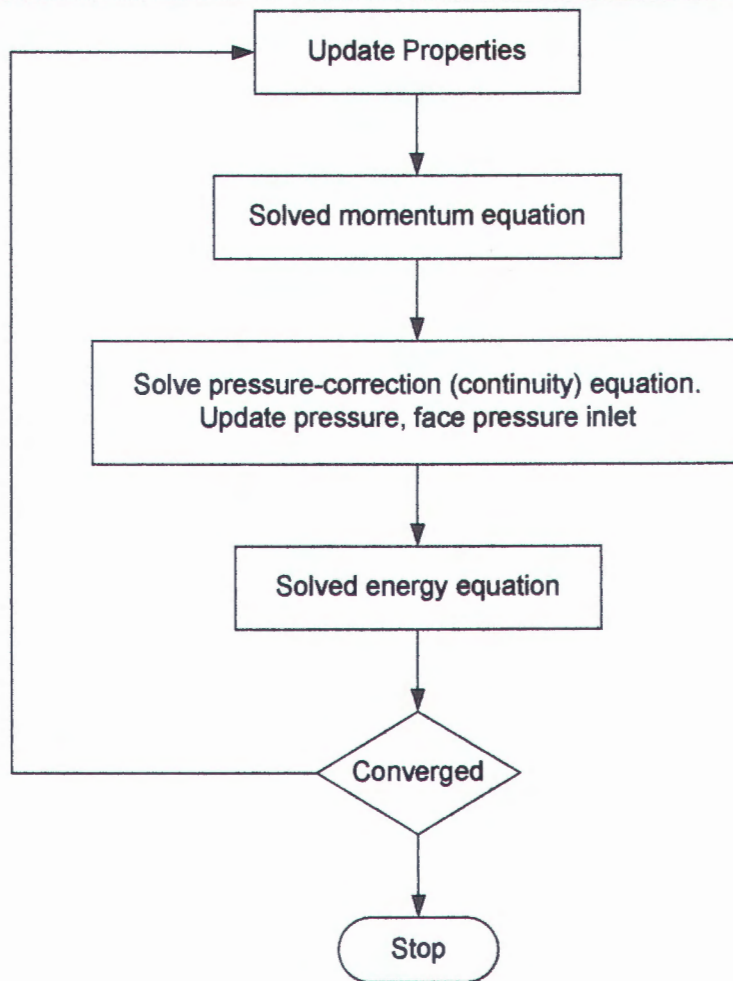


4. Kriteria Konvergensi ;

Penentuan konvergen sangat dipengaruhi oleh karakteristik aliran. Penyelesaian persamaan *kontinuitas* pada aliran konveksi bebas adalah sebesar 1×10^{-6} . Penentuan nilai yang cukup kecil ini dimaksudkan agar diperoleh penggambaran karakteristik aliran yang lebih teliti dan detail. Untuk persamaan *energi* di setting nilai yang sangat kecil yaitu 1×10^{-6} karena dibutuhkan ketelitian fenomena perpindahan panas. Sedangkan *x velocity* dan *y velocity* diset dengan nilai yang lebih besar yaitu 1×10^{-3} karena cukup sulit untuk tercapainya konvergensi dengan nilai yang sangat kecil.

5 Pre Prosesing dengan software CFD Fluent

Proses Pre Processing dengan software fluent dilakukan dengan beberapa tahap setelah proses pembuatan model, mesing dan pemberian boundary condition. Secara sekuensial karena bentuk persamaan adalah nonlinier maka dibutuhkan iterasi berulang-ulang untuk mencapai nilai residuals yang paling minimum (mencapai konvergen). Dalam gambar 3.4 diperlihatkan flowchart simulasi numerik.



Gambar 3.12 Flowchart simulasi numerik

Diskritisasi persamaan :

- Kestimbangan massa :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (3.1)$$

- Kestimbangan momentum :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_x \quad (3.2)$$



$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_y \quad (3.3)$$

➤ Kestimbangan energi :

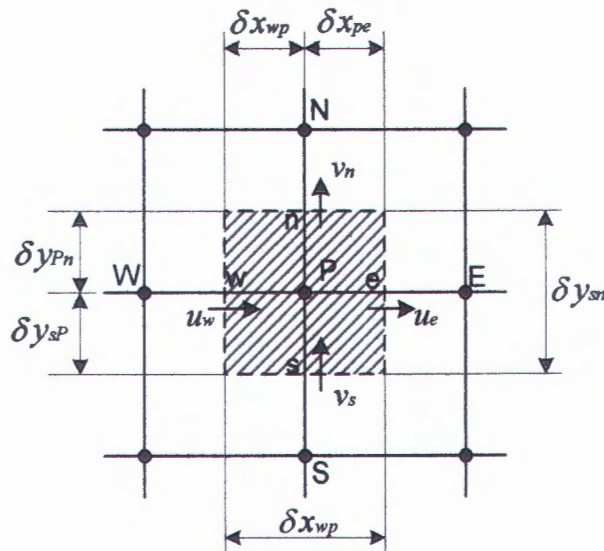
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho h u) = \text{div}(k \text{ grad } T) + S_h \quad (3.4)$$

Persamaan-persamaan (3.1-3.4) diatas dapat digeneralisasikan menjadi persamaan transport :

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \phi u) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) + S_\phi \quad (3.5)$$

Integrasi persamaan 3.5 untuk control volume dari gambar 3.5 diperoleh :

$$\begin{aligned} (\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w + (\rho v A \phi)_n - (\rho v A \phi)_s = \\ \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w + \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \end{aligned} \quad (3.6)$$



Gambar 3.13 Control volume sekeliling node P

Sumber ; Versteeg & Malalasekera¹⁴



dan integrasi untuk persamaan momentum diperoleh :

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w + (\rho u A)_n - (\rho u A)_s = 0 \quad (3.7)$$

Untuk memperoleh persamaan diskritisasi untuk kondisi konveksi-difusi didefinisikan dua-variabel F dan D yang mewakili fluks massa konvektif per satuan luas dan konduktansi difusi pada permukaan sel :

$$F = \rho u \quad \text{dan} \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (3.8)$$

sehingga nilai variable F dan D dari permukaan sel dapat ditulis :

$$F_w = (\rho u)_w, \quad F_e = (\rho u)_e, \quad F_n = (\rho u)_n, \quad F_s = (\rho u)_s \quad (3.9)$$

$$D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{wp}}, \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{pe}}, \quad D_n = \frac{\Gamma_n}{\delta x_{np}}, \quad D_s = \frac{\Gamma_s}{\delta x_{ps}} \quad (3.10)$$

Sehingga persamaan konveksi-difusi diatas dapat ditulis :

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w + F_n \phi_n - F_s \phi_s = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W) + D_n (\phi_N - \phi_P) - D_s (\phi_P - \phi_S) \quad (3.11)$$

sedangkan untuk persamaan momentum :

$$F_e - F_w + F_n - F_s = 0 \quad (3.12)$$

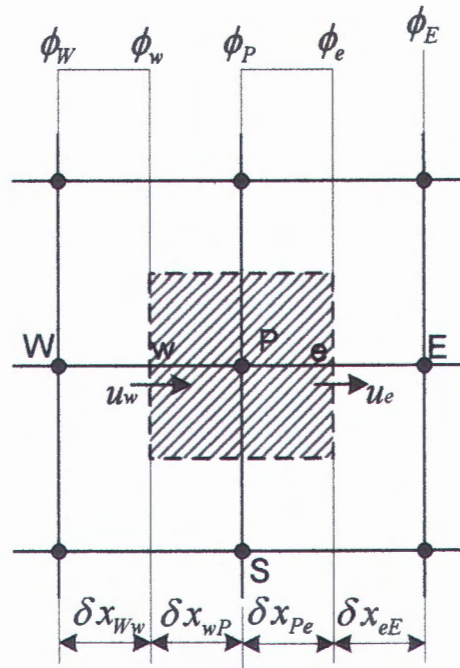
➤ Upwind Differencing

Digunakan karena konsisten dalam menghitung flux yang mengalir melalui muka sel, koefisien dari persamaan diskrit selalu positif sehingga sesuai dengan persyaratan dan arah aliran dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.6

Dari gambar 3.6, jika arah aliran positif (untuk kasus satu dimensi),

$u_w > 0, u_e > 0 (F_w > 0, F_e > 0)$, maka upwind scheme diset :

$$\phi_w = \phi_W \quad \text{dan} \quad \phi_e = \phi_P \quad (3.13)$$



Gambar 3.14 Control volume Upwind differencing scheme

Sumber ; Versteeg & Malalasekera ¹⁴

dan persamaan (3.11) didiskritkan diperoleh :

$$F_e \phi_P - F_w \phi_W = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W) \quad (3.13)$$

sehingga disederhanakan menjadi :

$$(D_w + D_e + F_e) \phi_P = (D_w + F_w) \phi_W + D_e \phi_E \quad (3.14)$$

menjadi persamaan :

$$\begin{aligned} [(D_w + F_w) + D_e + (F_e - F_w)] \phi_P = \\ (D_w + F_w) \phi_W + D_e \phi_E \end{aligned} \quad (3.15)$$

Jika arah aliran negative, $u_w < 0, u_e < 0 (F_w < 0, F_e < 0)$, maka upwind scheme diset :



$$\phi_w = \phi_p \quad \text{dan} \quad \phi_e = \phi_E \quad (3.16)$$

dan persamaan (3.13) didiskritkan diperoleh :

$$F_e \phi_E - F_w \phi_p = D_e (\phi_E - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_w) \quad (3.17)$$

sehingga disederhanakan menjadi :

$$\begin{aligned} [D_w + (D_e - F_w) + (F_e - F_w)] \phi_p = \\ D_w \phi_w + (D_e - F_e) \phi_E \end{aligned} \quad (3.18)$$

Persamaan (3.15) & (3.18) dapat digeneralisasikan menjadi :

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_E \phi_E \quad (3.19)$$

dengan sentral koefisien : $a_p = a_w + a_E + (F_e - F_w)$

Dengan koefisien tetangganya :

	a_w	a_E
$F_w > 0, F_e > 0$	$D_w + F_w$	D_e
$F_w < 0, F_e < 0$	D_w	$D_e - F_e$

➤ Metode SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation)

Tahap-tahap yang harus dilakukan dalam metode ini adalah :

1. Besarnya tekanan coba-coba p^* diterka dengan mendiskritisasikan persamaan momentum dalam arah u^* dan v^* sebagai :

$$a_{i,j} u_{i,j}^* = \sum a_{nb} u_{nb}^* + (p_{1-i,j}^* - p_{1,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (3.20)$$

$$a_{i,j} v_{i,j}^* = \sum a_{nb} v_{nb}^* + (p_{1,j-1}^* - p_{1,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (3.21)$$

2. Mendefinisikan tekanan koreksi P' , kecepatan koreksi u' dan v' :



$$p = p^* + p' \quad (3.22)$$

$$u = u^* + u' \quad (3.23)$$

$$v = v^* + v'$$

3. Substitusi tekanan koreksi p' ke persamaan momentum diperoleh kecepatan koreksi (u dan v) :

$$a_{i,j}u_{i,j} = \sum a_{nb}u_{nb} - \frac{p_{1,j} - p_{1-i,j}}{\delta x_u} \Delta V_u + \bar{S} \Delta V_u$$

$$\text{atau } a_{i,j}u_{i,j} = \sum a_{nb}u_{nb} + (p_{1-i,j} - p_{1,j})A_{i,j} + b_{i,j} \quad (3.24)$$

Dengan subtraksi persamaan (3.16) dan (3.21) dari persamaan momentum diperoleh :

$$a_{i,j}(u_{i,j} - u_{i,j}^*) = \sum a_{nb}(u_{nb} - u_{nb}^*) + [(p_{1,j} - p_{1-i,j}^*) - (p_{1,j} - p_{1,j}^*)]A_{i,j} \quad (3.25)$$

$$a_{1,j}(u_{1,j} - u_{1,j}^*) = \sum a_{nb}(v_{nb} - v_{nb}^*) + [(p_{1,j-1} - p_{1,j-1}^*) - (p_{1,j} - p_{1,j}^*)]A_{1,j} \quad (3.26)$$

Dengan menggunakan formulasi koreksi tekanan dan kecepatan persamaan (3.22) & (3.23) diperoleh :

$$a_{i,j}u'_{i,j} = \sum a_{nb}u'_{nb} + (p'_{1-i,j} - p'_{1,j})A_{i,j} \quad (3.27)$$

$$a_{1,j}v'_{1,j} = \sum a_{nb}v'_{nb} + (p'_{1,j-1} - p'_{1,j})A_{1,j} \quad (3.28)$$

4. Pada metode ini faktor $\sum a_{nb}u'_{nb}$ dan $\sum a_{nb}v'_{nb}$ dapat dihilangkan dari persamaan (3.27) & (3.28) untuk kecepatan koreksi :

$$a_{i,j}u'_{i,j} = d_{i,j}(p'_{1-i,j} - p'_{1,j})A_{i,j} \quad (3.29)$$



$$a_{i,j}v'_{i,j} = d_{i,j} (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) A_{i,j} \quad (3.30)$$

$$\text{dimana : } d_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}} \text{ dan } d_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}}$$

Persamaan (3.29) & (3.30) digambarkan untuk aplikasi kecepatan koreksi :

$$u'_{i,j} = u^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \quad (3.31)$$

$$v'_{i,j} = v^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \quad (3.32)$$

5. Kecepatan harus memenuhi persamaan kontinuitas, diskritisasi dari persamaan kontinuitas untuk scalar control volume :

$$\left[(\rho u A)_{i+1,j} - (\rho u A)_{i,j} \right] + \left[(\rho v A)_{i,j+1} - (\rho v A)_{i,j} \right] = 0 \quad (3.33)$$

substitusi persamaan (3.31) & (3.32) untuk diskritisasi persamaan kontinuitas (3.33) menjadi :

$$\begin{aligned} & \left[\rho_{i+1,j} A_{i+1,j} \left(u^*_{i+1,j} + d_{i+1,j} (p'_{i,j} - p'_{i+1,j}) \right) \right. \\ & \quad \left. - \rho_{i,j} A_{i,j} \left(u^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \right) \right] \\ & \quad + \left[\rho_{i,j+1} A_{i,j+1} \left(v^*_{i,j+1} + d_{i,j+1} (p'_{i,j} - p'_{i,j+1}) \right) \right. \\ & \quad \quad \left. - \rho_{i,j} A_{i,j} \left(v^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3.34)$$

Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$a_{i,j} p'_{i,j} = a_{i+1,j} p'_{i+1,j} + a_{i-1,j} p'_{i-1} + a_{i,j+1} p'_{i,j+1} + a_{i,j-1} p'_{i,j-1} + b'_{i,j} \quad (3.35)$$

Tekanan koreksi p' diperoleh dari penyelesaian persamaan (3.35), dimana source term b' tergantung dari ketidakseimbangan penyelesaian persamaan kontinuitas karena u^* dan v^* salah. Setelah diperoleh



tekanan koreksi P' untuk semua point dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (3.22), sedangkan kecepatan koreksi diperoleh dari persamaan (3.31) & (3.32). Persamaan akan konvergen bila :

$$p^{new} = p^* + \alpha_p p' \quad (3.36)$$

dimana : α_p = under relaksasi factor untuk tekanan nilainya dari 0-1.

Untuk nilai 0 maka tekanan terkaan p^* tidak mengalami koreksi sedangkan nilai 1 sebaliknya terkoreksi oleh p' .

Untuk mendapatkan u^{new} dan v^{new} :

$$\begin{aligned} u^{new} &= \alpha_u u + (1 - \alpha_u) u^{(n-1)} \\ v^{new} &= \alpha_v v + (1 - \alpha_v) v^{(n-1)} \end{aligned} \quad (3.37)$$

dimana : $u^{(n-1)}$ dan $v^{(n-1)}$ adalah nilai kecepatan pada iterasi sebelumnya.

Tabel 3.2 Metode Diskritisasi dan Nilai Faktor Under Relaksasi

No	Persamaan	Diskritisasi	Faktor Under – Relaksasi (α)
1.	Pressure	Standart	0,3
2.	Momentum	First Order Upwing	0,7
3.	Energi	First order upwing	1
4.	Pressure-velocity Coupling	SIMPLE	
5.	Density		1
6.	Body force		1



Penyelesaian dengan menggunakan faktor under relaksasi, $\alpha_p = 0,3$, karena persamaan tekanan koreksi, p' cenderung sulit mencapai nilai konvergen apalagi untuk kasus aliran konveksi alamiah. Sedangkan untuk momentum digunakan α yang lebih besar (0,7) karena persamaan momentum cenderung tidak mudah mencapai konvergen. Untuk persamaan energi, density dan body force menggunakan $\alpha = 1$.



BAB IV

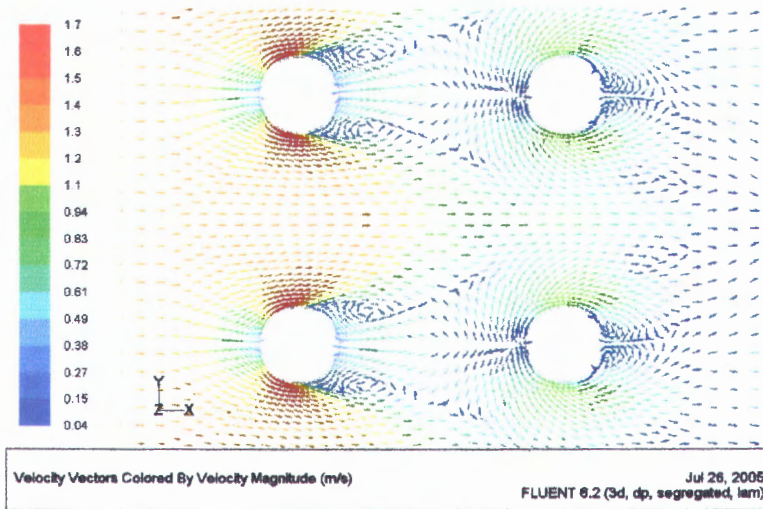
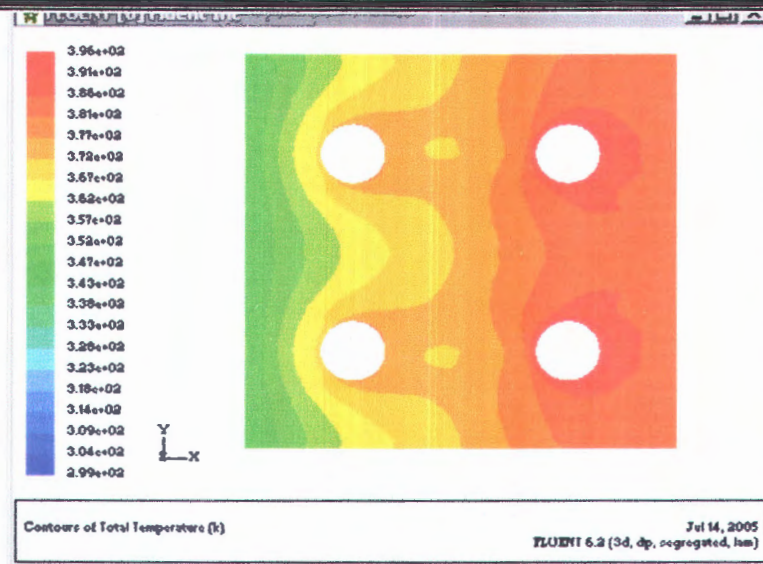
ANALISA DAN DISKUSI

4.1. Pola Aliran Pengaruh dari Angka Reynolds dan Jarak Sirip (Aligned)

Setelah melakukan pemodelan secara numerik dengan dimensi benda yang sama dengan eksperimen baik susunan aligned maupun staggered, dan dengan penentuan boundary condition sebagai berikut :

1. Tube; Isothermal dengan Heat flux (q'') = 4458.5987 W/m² untuk susunan tube aligned dan Heat flux (q'') = 2523.1286 W/m² untuk susunan tube staggered.
2. Isolated wall; wall thickness = 0.003 m
3. Temperatur udara masuk = 26⁰ C = 299 K
4. Properties udara :
 - ρ = 1.104125 Kg/m³
 - Cp = 1007.6884 J/Kg.K
 - Konduktivitas Thermal (K) = 27.57354 W/m.K
5. Gaya Gravitasi ; g = 0
6. Gage Pressure = 0 (Tekanan pada outlet)

Maka diperoleh pola aliran dan kontur temperatur seperti yang terlihat pada gambar 4.1

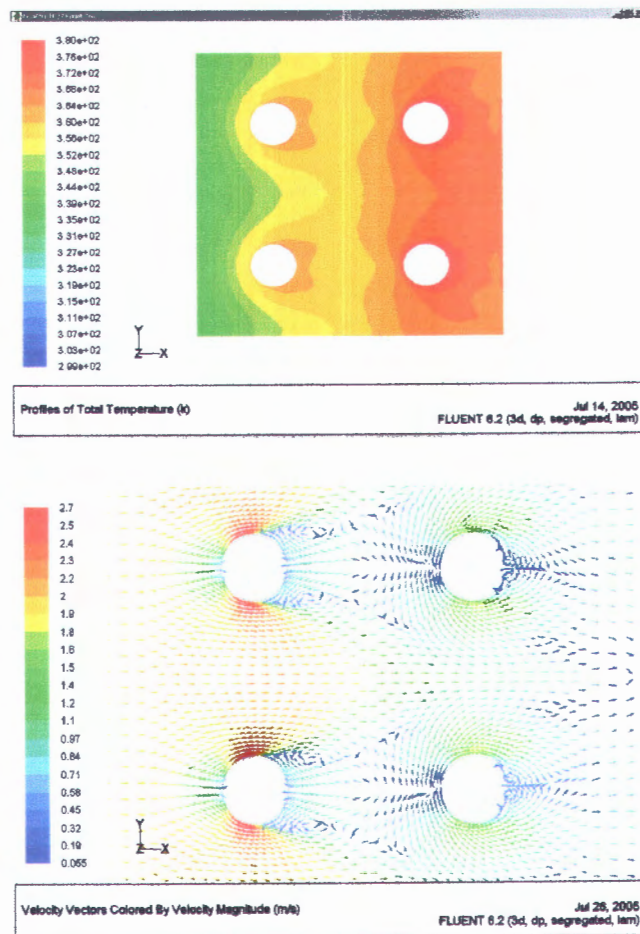


Gambar 4.1 Kontur temperature dan pola aliran Re 500, Pf3 susunan aligned

Pada gambar 4.1 terlihat pada Re 500, kontur temperature pada tube 1 dan tube 2 simetris, hal ini disebabkan karena jarak antara tube yang cukup jauh ($SL/D = 3.3$) sehingga dianggap sebagai tube tunggal. Terlihat bahwa pada tube 1 separasi lebih maju kedepan dibanding dengan Re 750 dan Re 1000 yang lebih besar (gambar 4.2, gambar 4.3). Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran udara yang melewati susunan silinder berbeda-beda, dimana semakin tinggi angka



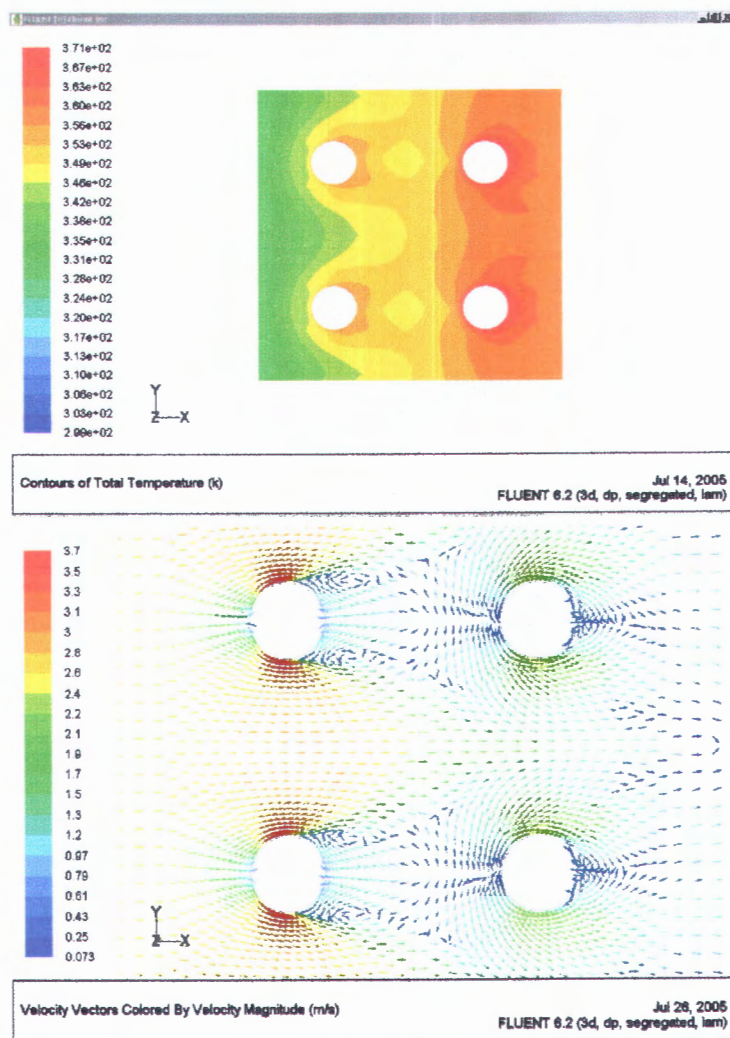
Reynolds maka kecepatan pun semakin besar. Temperatur pun lebih tinggi dibanding dengan angka Reynolds yang lebih tinggi karena kecepatan yang meningkat. Setelah titik separasi yang lepas sampai kedaerah belakang tube pertama dan sebelum memasuki tube kedua temperature kembali naik lagi akibat pengaruh dari panas bangkitan (heat fluks) pada silinder kedua. Kecepatan udara yang memasuki tube kedua lebih rendah dari tube pertama. Hal ini disebabkan juga karena pengaruh dari daerah wake tube pertama. Juga terlihat daerah wake yang hampir sama polanya pada daerah bawah tube 2 dan atas tube 4 sehingga kontur temperature pada daerah tersebut juga terlihat hampir sama.



Gambar 4.2 Kontur temperature dan pola aliran Re 750, Pf 3 susunan aligned



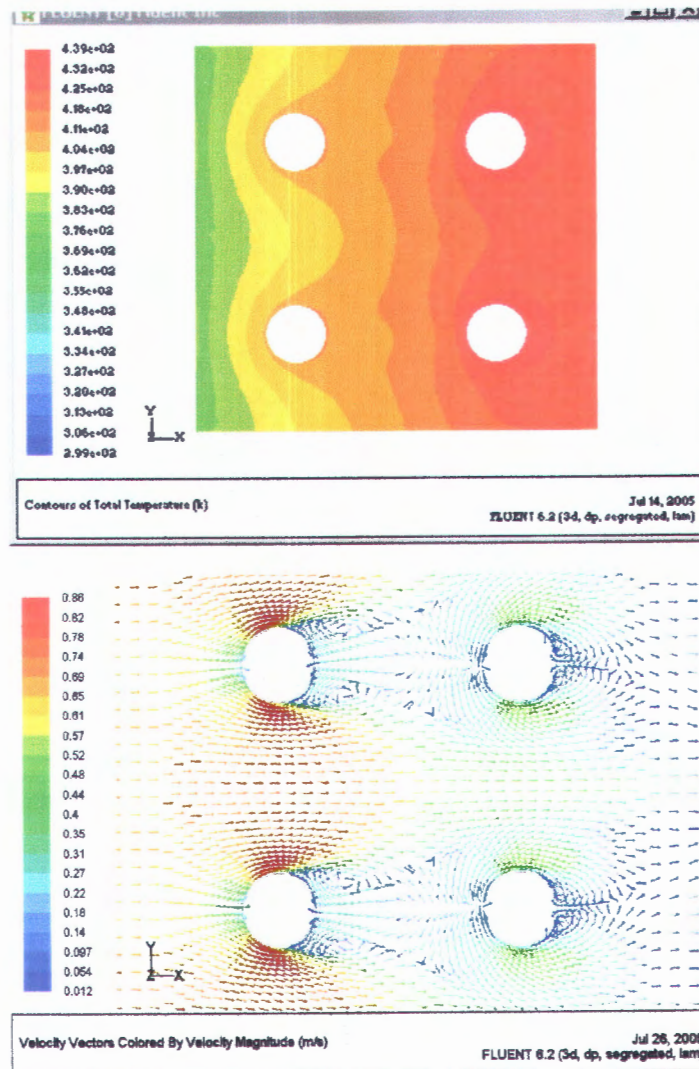
Pada gambar 4.2 terlihat pada tube 1 maupun tube 2 bahwa separasi lebih tertunda kebelakang (lebih menyempit) dibanding dengan gambar 4.1 hal ini disebabkan karena pengaruh kecepatan akibat perubahan angka Reynoldnya. Terlihat pula pada kontur temperature antara sillinder depan dan belakang yang lebih rendah dibandingkan dengan Re 500 (gambar 4.1). Dari pola aliran juga terlihat adanya daerah wake pada tube belakang pada bagian bawah tube 2 dan atas tube 4 yang mengakibatkan temperatur didaerah tersebut meningkat.



Gambar 4.3 pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 3 susunan aligned



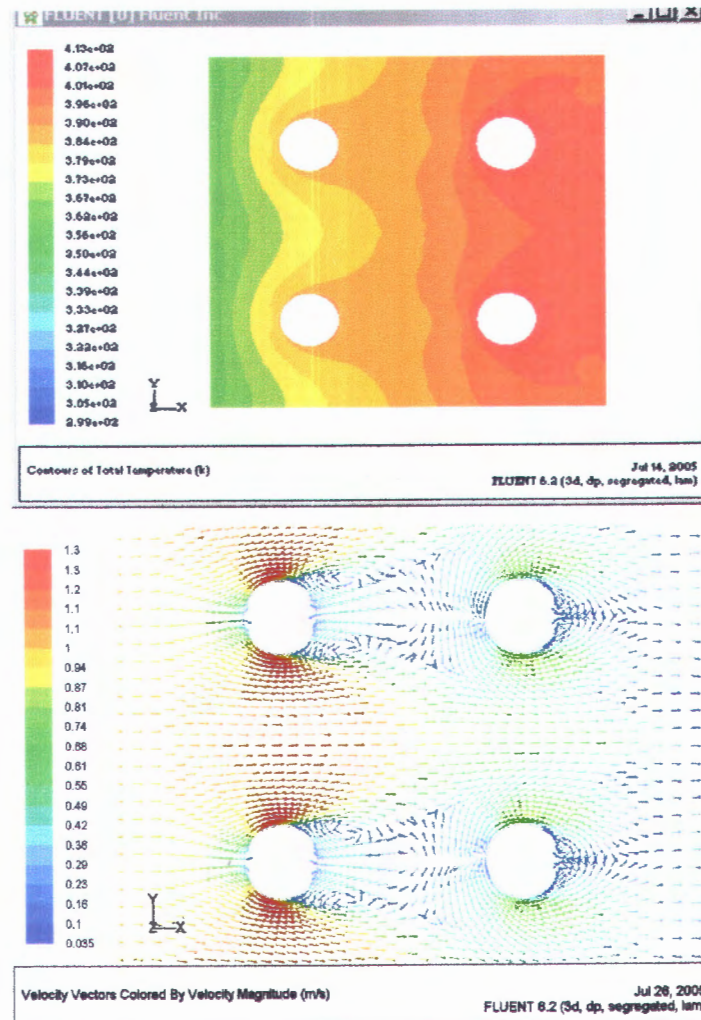
Pada gambar 4.3 pola aliran pada Re 1000 hampir sama dengan Re 500 untuk jarak fin 3 tetapi Re 1000 daerah wake tube 1 dan 3 tidak menyambung (lebih sempit) dibanding pada Re 500 (gambar 4.1) yang daerah wakenya masih menyambung hingga mendekati tube 2 dan 4. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran udara yang memasuki susunan tube lebih besar ($v = 2,2 \text{ m/s}$) dibandingkan pada Re 500 ($v = 0,3 \text{ m/s}$).



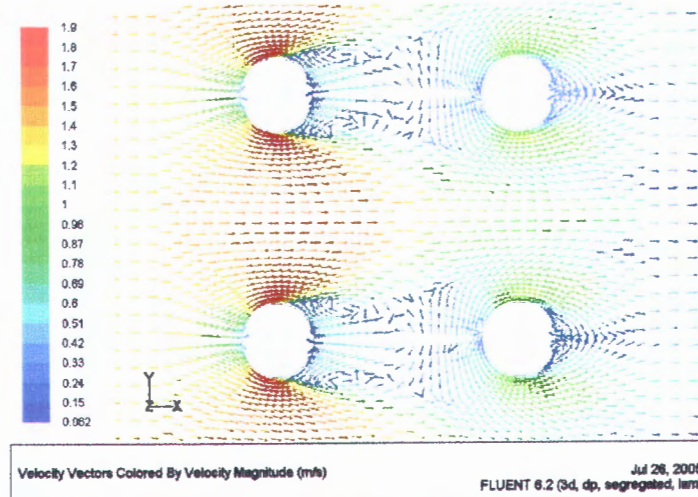
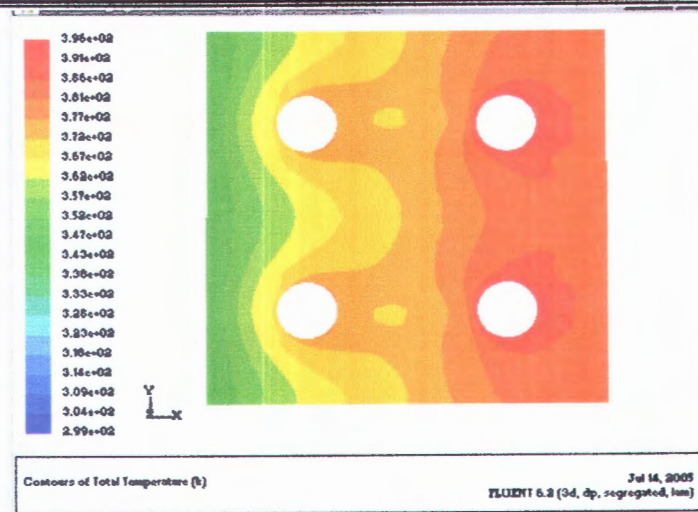
Gambar 4.4 pola aliran dan kontur temperatur Re 500, Pf 5 susunan aligned
Pada masing – masing jarak sirip yang lain ($pf = 5 \text{ mm}$, $pf = 7 \text{ mm}$),



memiliki pola aliran dan kontur temperatur yang hampir sama pada angka Reynolds yang sama (gambar 4.4 dan gambar 4.5) yang agak berbeda daerah bertemperatur lebih tinggi yang menyambung lebih sempit (kecil) didaerah bawah silinder 2 dan atas silinder 4 pada jarak fin (pf) 7 mm dan $Re = 1000$ (gambar 4.9) sedangkan pada $pf = 3$ mm dan $pf = 5$ mm terjadi pada $Re = 750$

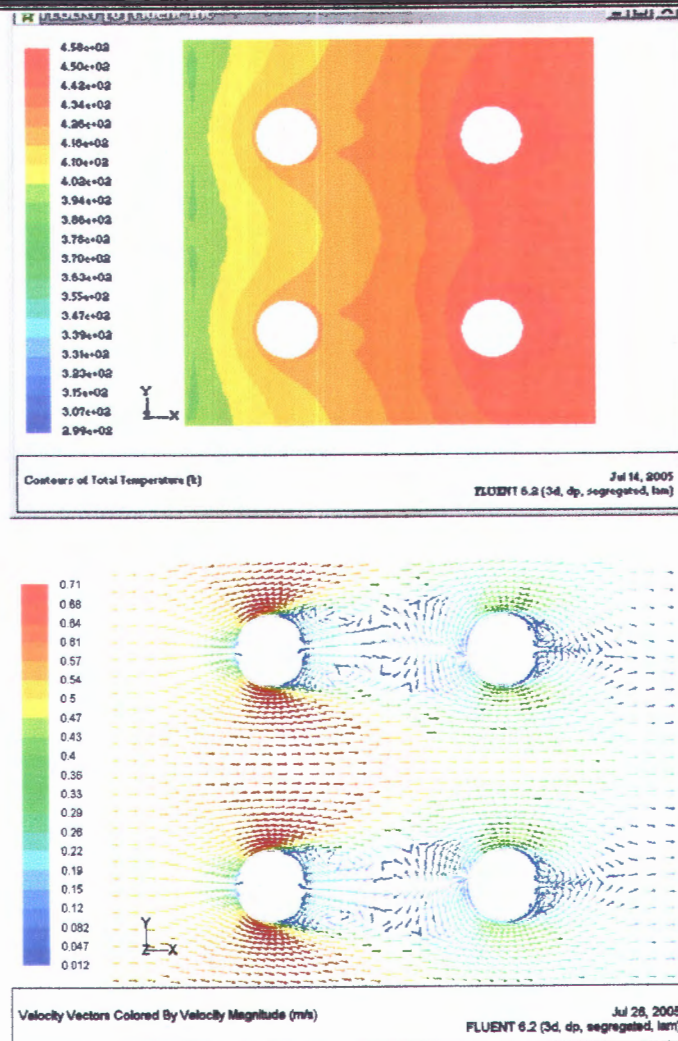


Gambar 4.5 pola aliran dan kontur temperature Re 750, Pf 5 susunan aligned



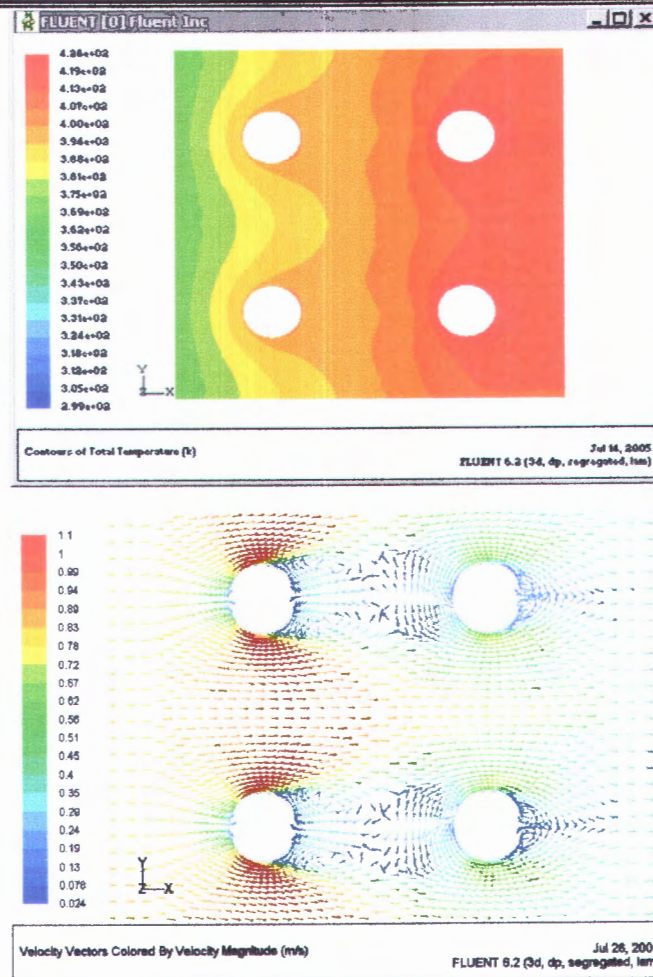
Gambar 4.6 pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 5 susunan aligned

Pada gambar 4.7 terlihat temperatur antara tube1 dan tube 2 yang lebih besar pada daerah belakang tube 1 dan tube2 dengan angka Reynolds yang sama (Re 500) untuk jarak sirip 3 mm dan 5 mm, daerah bertemperatur tinggi lebih kebelakang mendekati tube 2 dan terus meningkat sampai pada belakang tube 2 dan tube 4.



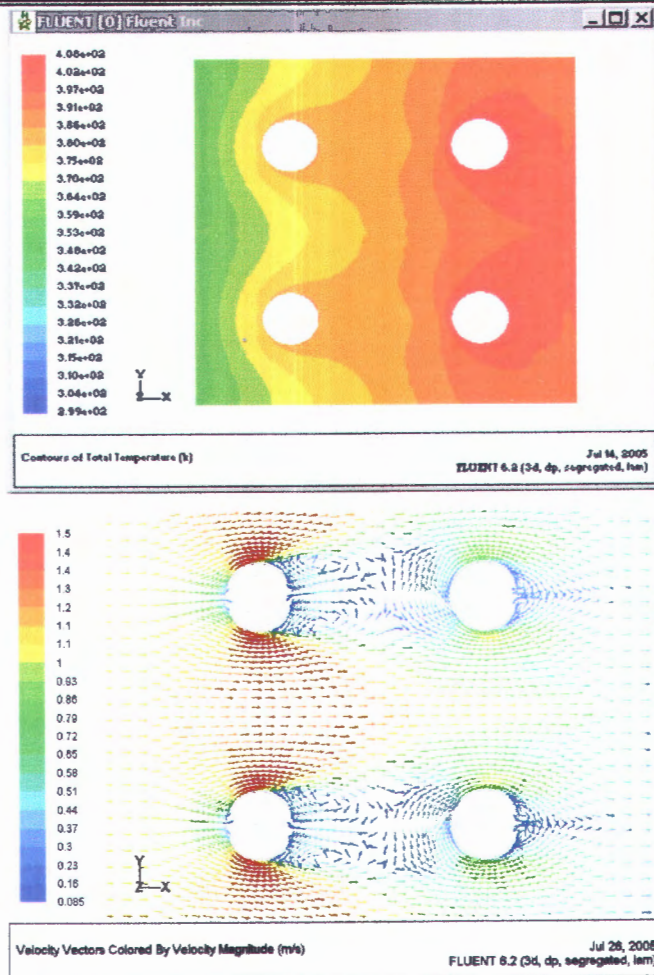
Gambar 4.7 pola aliran dan kontur temperature Re 500, Pf 7 susunan aligned

Sedangkan pada Re 750 (gambar 4.8) kontur temperatur dan kecepataannya hampir sama pada jarak sirip yang lain (3 mm dan 5 mm) tetapi daerahnya lebih sempit, pada tube 2 dan tube 4 temperaturnya hampir sama tetapi agak melebar pada daerah sekeliling tube 2 dan 4.



Gambar 4.8 pola aliran dan kontur temperature Re 750, Pf 7 susunan aligned

Pada angka Reynolds yang lebih besar dan jarak sirip yang lebih besar ($pf = 7\text{mm}$) terlihat pula bahwa temperatur pada daerah belakang tube 1 dan 3 lebih panas dibanding depan tube dan lebih menyempit. Hal ini disebabkan karena kecepatannya yang semakin cepat. Demikian pula pada tube 2 dan 4 karena pengaruh dari kecepatan yang masuk pada tube 2 dan 4 serta heat fluks pada tube mengakibatkan temperatur didaerah tersebut menjadi lebih tinggi dibanding tube 1 dan 3.



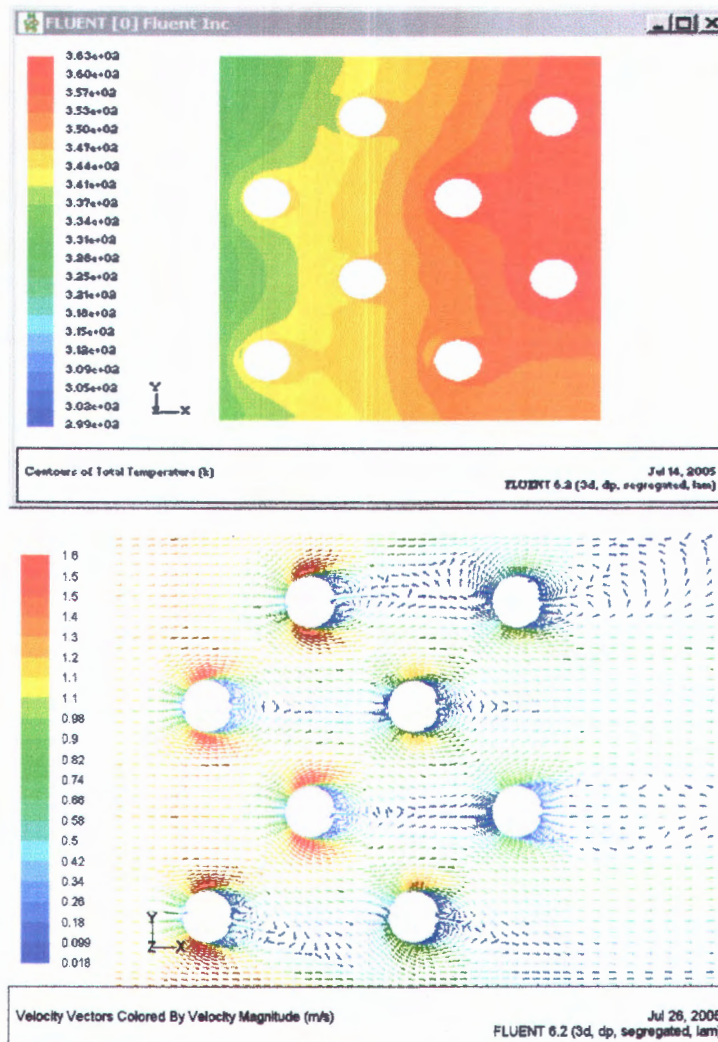
Gambar 4.9 pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 7 susunan aligned

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa temperatur yang lebih tinggi dibelakang tube 1 dan tube 3 lebih mengecil menuju ke tube 2 dan 4. Kecepatan tertinggi terjadi sebelum titik separasi baik untuk tube 1 dan tube 2, kemudian turun dan agak naik lagi pada bagian belakang tube, akibat dari vortex dan wake yang terjadi didaerah tersebut.



4.2 Pola Aliran Pengaruh dari Angka Reynolds dan Jarak Sirip (Staggered)

Untuk boundary condition yang sama dengan susunan tube aligned dengan panas bangkitan ($q'' = 2523.1286 \text{ W/m}^2$) yang berbeda menggunakan program Fluent 6.2 diperoleh kontur temperatur dan velocity vector untuk susunan tube staggered.

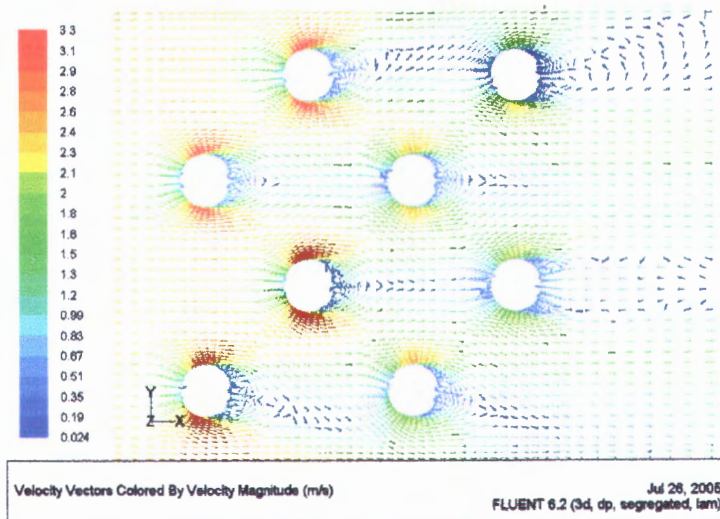
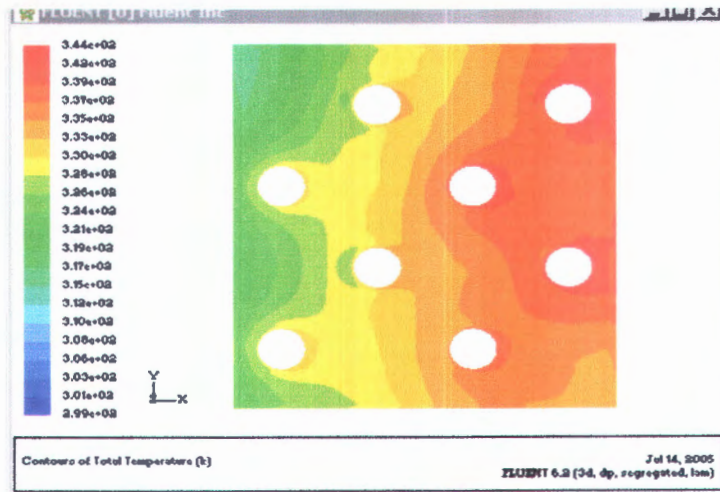


Gambar 4.10 Pola aliran dan kontur temperature Re 500, Pf 3 susunan staggered

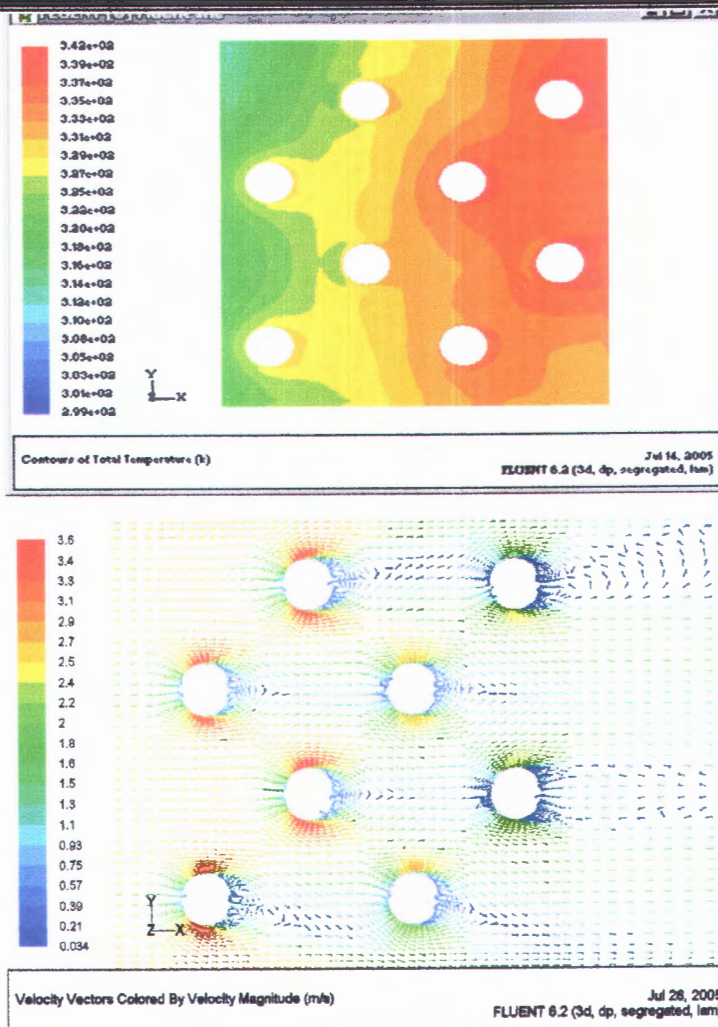
Pada gambar 4.10 terlihat bahwa temperatur pada fin yang berbeda



pada baris atas dan bawah. Tampak bahwa pada daerah sekitar tube 5 yang lebih panas dibandingkan tube 6 yang berada segaris, hal ini disebabkan karena tube 5 mendapat gangguan dari tube 3 dan 4 sehingga temperaturnya lebih tinggi dari tube 6 dan kecepatannya juga naik. Sedangkan tube 6 hanya mendapat gangguan dari tube 4 sehingga temperatur naik setelah titik separasi dan kecepatan naik hanya pada sisi atas tube 6 saja.

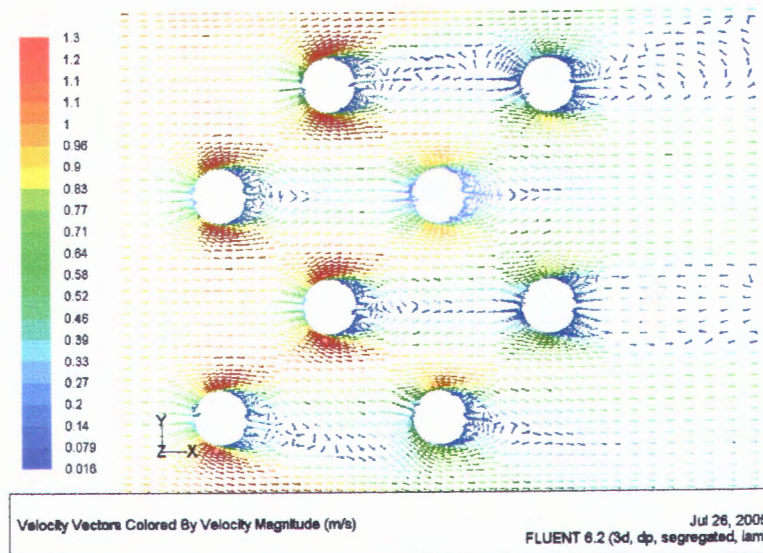
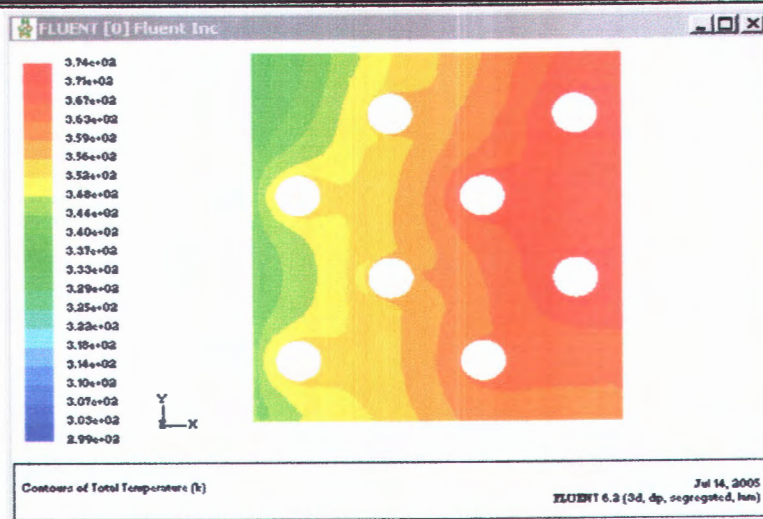


Gambar 4.11 Pola aliran dan kontur temperature Re 750, Pf 3 susunan staggered



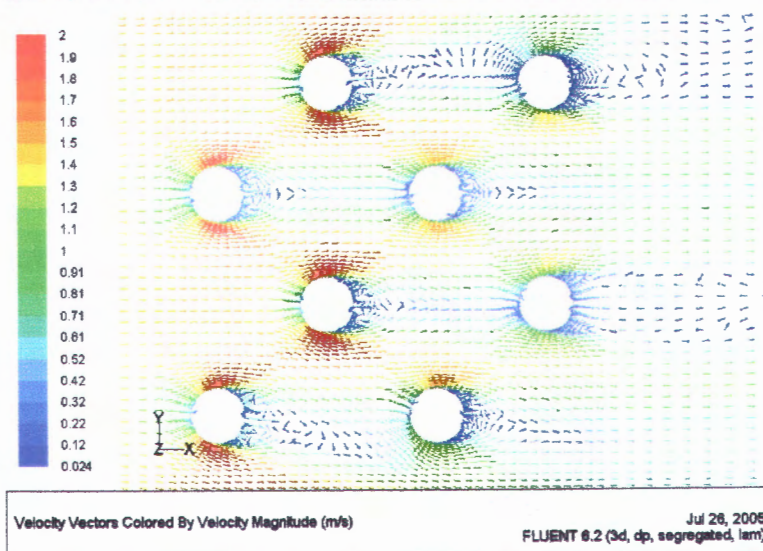
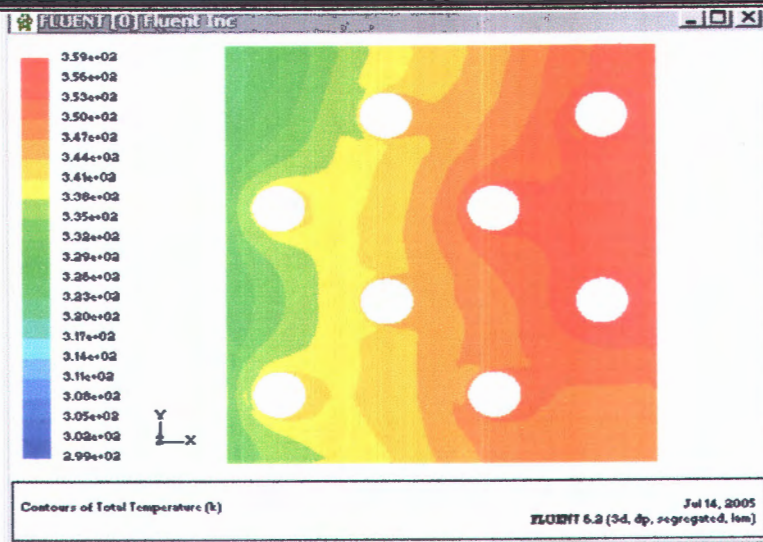
Gambar 4.12 Pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 3 susunan staggered

Untuk angka Reynolds yang lebih tinggi (Re 750 dan Re 1000) terlihat bahwa dengan bertambahnya angka Reynold maka distribusi temperatur pada sirip dan tube makin berkurang (lebih dingin) dibanding Re 500 dan kecepatannya semakin bertambah (gambar 4.11 dan 4.12). Karena bertambahnya kecepatan maka daerah wake pada masing – masing tube juga semakin terdorong kebelakang (semakin sempit), sehingga pada daerah tersebut temperaturnya menjadi lebih tinggi .

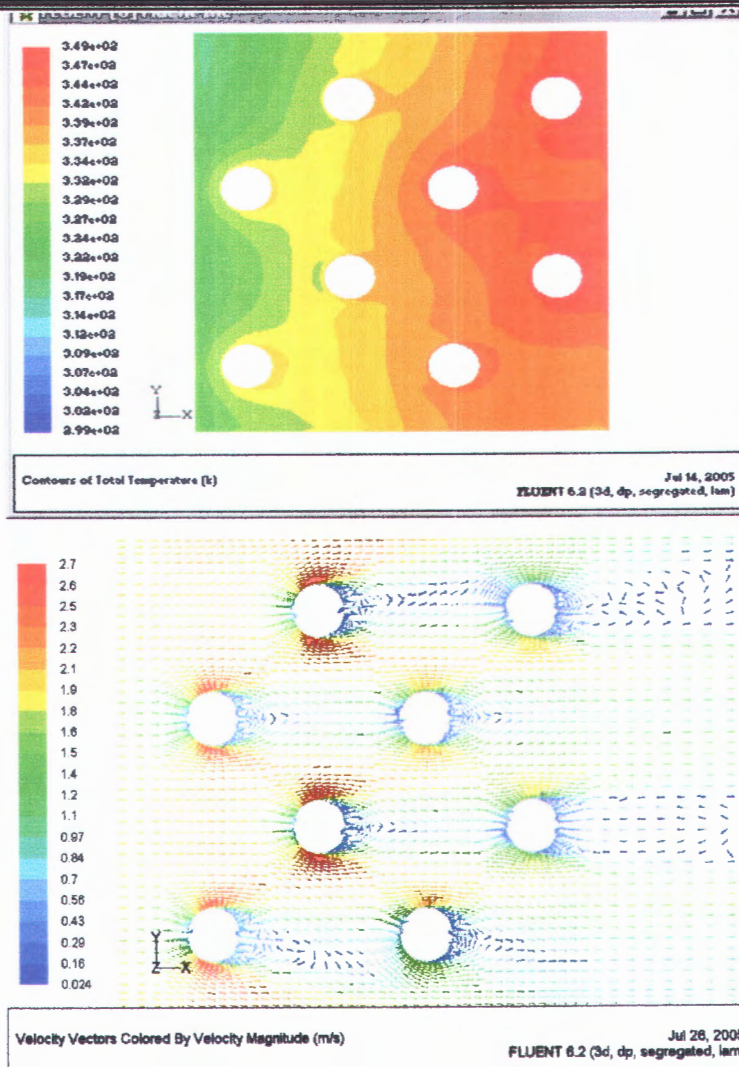


Gambar 4.13 Pola aliran dan kontur temperature Re 500, Pf 5 susunan staggered

Pada variasi jarak sirip ($pf = 5 \text{ mm}$ dan $pf = 7 \text{ mm}$) dan angka Reynolds ($Re 500$, $Re 750$ dan $Re 1000$) dari segi kontur temperatur dan velocity vector terlihat pola yang hampir sama dengan pad $pf = 3 \text{ mm}$ tetapi memiliki nilai yang lebih tinggi untuk kecepatan pada sirip maupun pada tube dan temperatur yang lebih rendah pada sirip dan tube untuk angka Reynolds yang lebih besar (gambar 4.13, gambar 4.14, gambar 4.15)

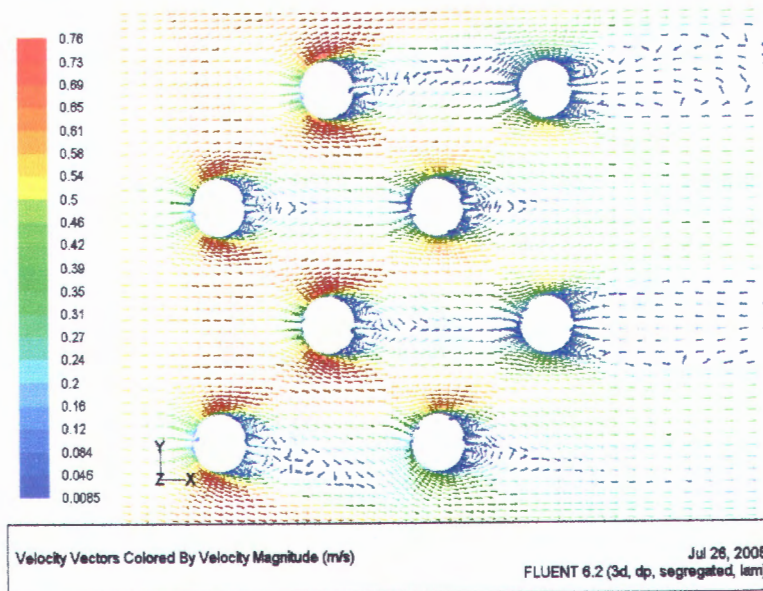
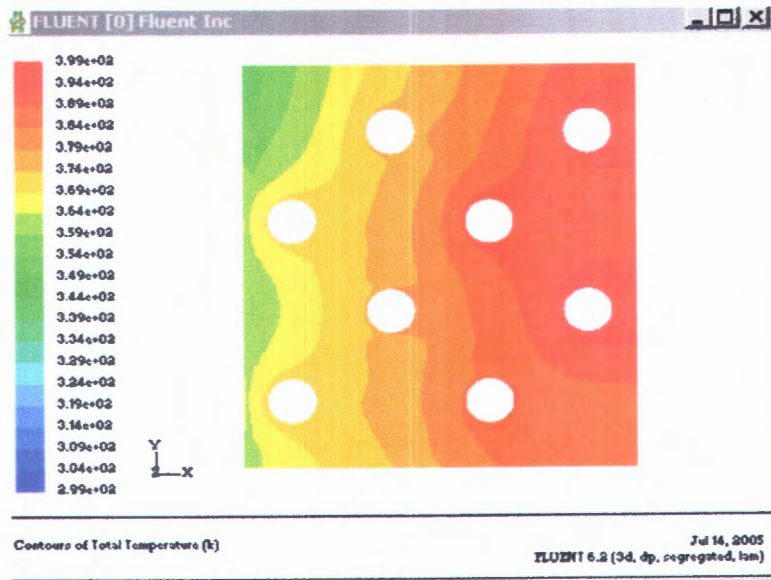


Gambar 4.14 Pola aliran dan kontur temperature $Re\ 750$, $Pf\ 5$ susunan staggered

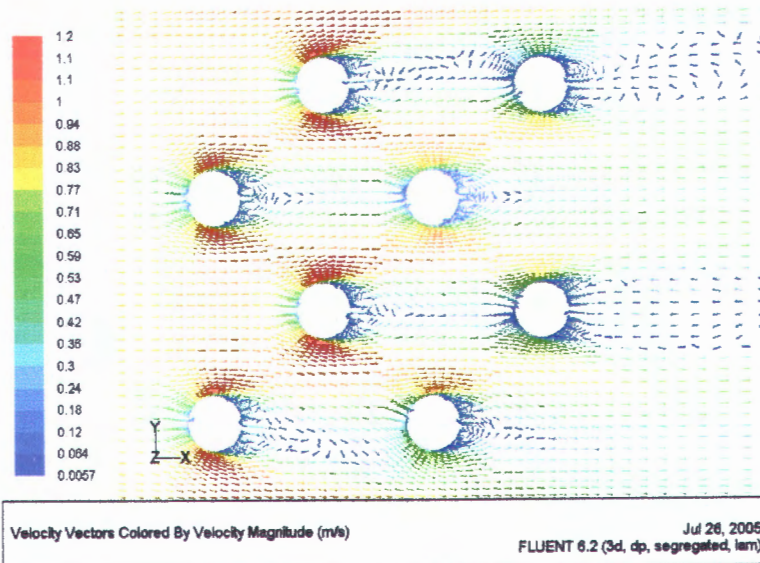
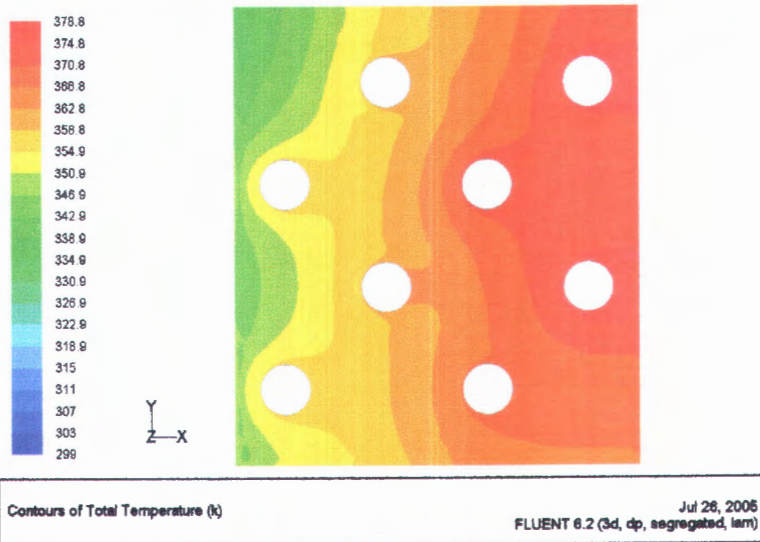


Gambar 4.15 Pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 5 susunan staggered

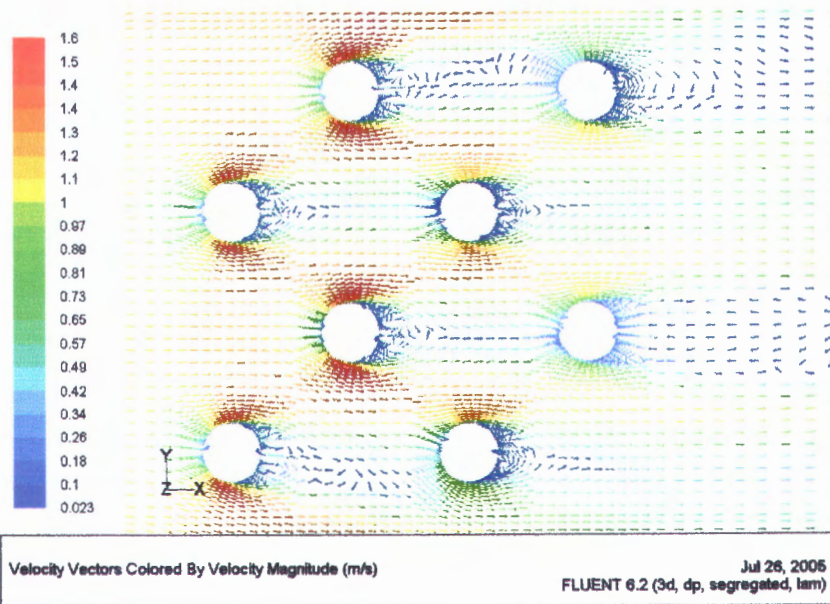
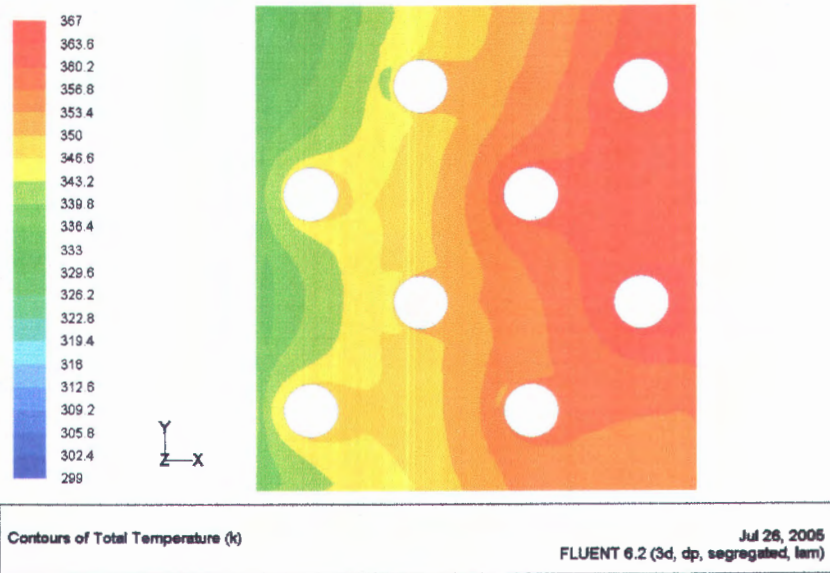
Pada jarak sirip yang semakin besar terlihat bahwa temperaturnya semakin naik, demikian pula distribusi kecepatannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya angka Reynolds. Hal ini disebabkan karena perubahan ketebalan boundary layer dari aliran laminar ke aliran transisi dibelakang tube yang disebabkan oleh vortex pada daerah wake (Gambar 4.16, gambar 4.17 dan gambar 4.18).



Gambar 4.16 Pola aliran dan kontur temperature Re 500, Pf 7 susunan staggered



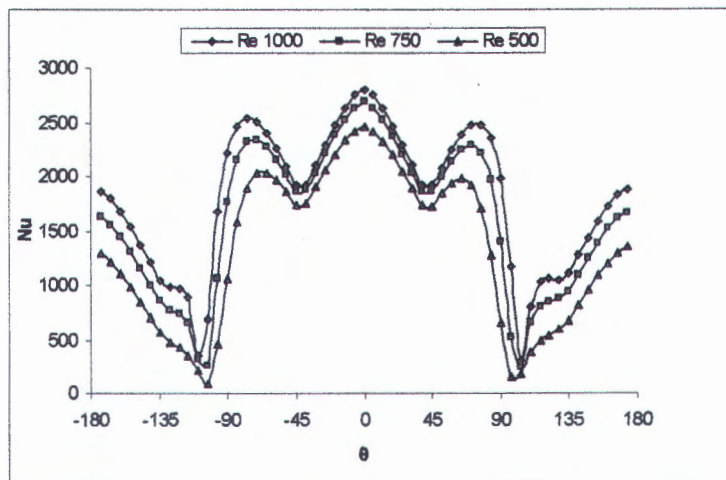
Gambar 4.17 Pola aliran dan kontur temperature Re 750, Pf 7 susunan staggered



Gambar 4.18 Pola aliran dan kontur temperature Re 1000, Pf 7 susunan staggered

4.3 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds terhadap Angka Nusselt Lokal dan Kecepatan Lokal (Aligned)

Dari hasil pemodelan numerik untuk susunan aligned pada jarak sirip yang kecil ($pf = 3\text{mm}$) maupun yang besar ($pf = 5\text{ mm}$ dan $pf = 7\text{ mm}$) memiliki pola yang hampir sama (Gambar 4.20 sampai gambar 4.21), dimana angka Nusselt bertambah seiring dengan bertambahnya θ sebagai akibat dari boundary layer laminar lanjutan kemudian turun tetapi belum terseparasi hingga mencapai minimum pada $\theta \approx 120$ dan $\theta \approx -120$ dimana separasi terjadi kemudian angka Nusselt bertambah lagi seiring bertambahnya θ akibat dari vortex formation dan wake yang terjadi dibelakang tube.



Gambar 4.20 Grafik angka Nusselt local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 1

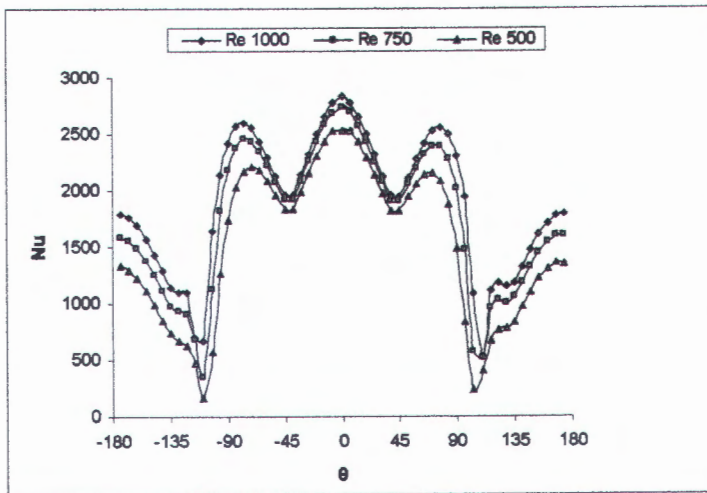
Dengan bertambahnya angka Reynolds maka angka Nusseltnya juga semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena perbedaan temperatur yang bertambah pula sehingga mengakibatkan angka Nusselt bertambah, sesuai dengan



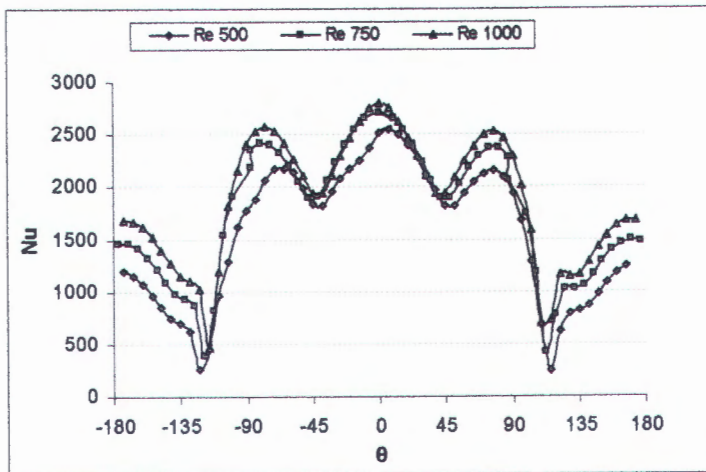
persamaan :

$$h_{\theta} = \frac{q''}{(T_{\theta} - T_{\infty})} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$Nu_{\theta} = \frac{h_{\theta} D_t}{k_f} = f(Re, Pr, x^*) \dots\dots\dots (4.2)$$



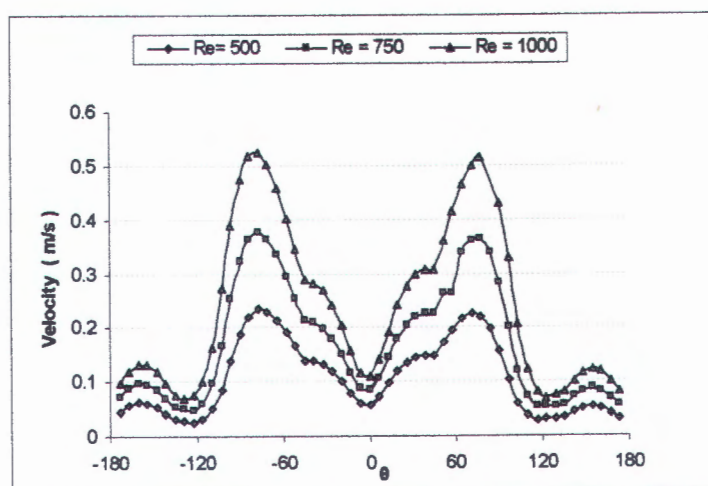
Gambar 4.21 Grafik angka Nusselt local pada pf = 5mm, tube 1



Gambar 4.22 Grafik angka Nusselt local pada pf = 7mm, tube 1

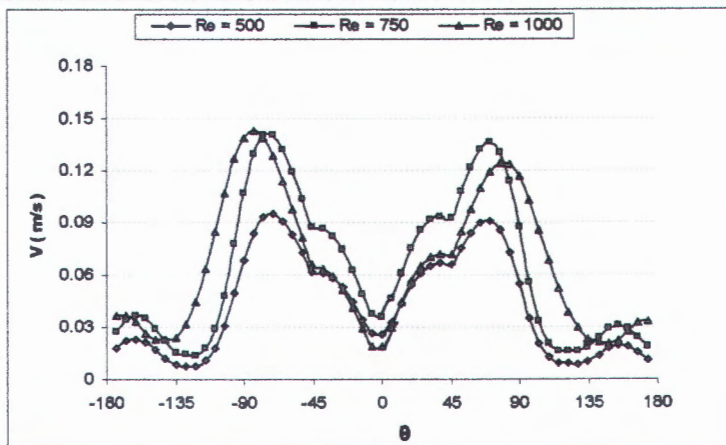


Semakin besar angka Reynolds maka kecepatan juga semakin bertambah untuk masing – masing jarak sirip. Pada titik stagnasi kecepatan berkurang kemudian naik seiring dengan bertambahnya θ , kemudian mencapai minimum pada titik separasi baru kemudian naik lagi setelah titik separasi sebagai akibat dari vortex dan wake dibelakang tube

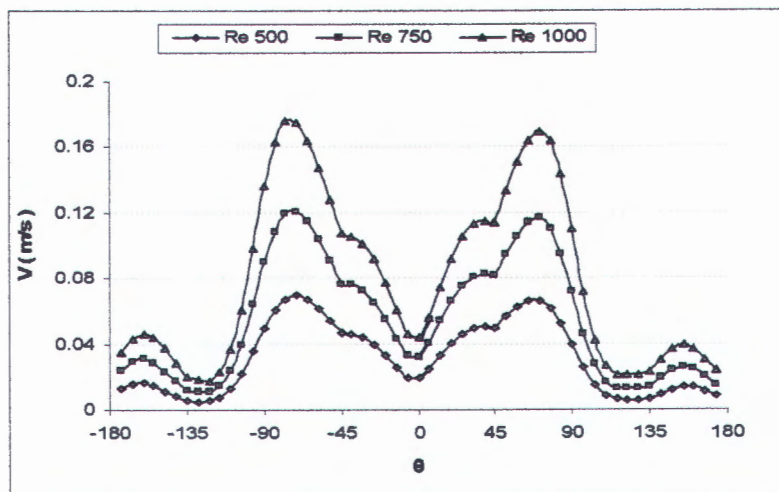


Gambar 4.23 Grafik Velocity magnitude local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 1

Pola kecepatan hampir sama untuk masing masing jarak sirip (pada $pf = 5\text{ mm}$ dan $pf = 7\text{ mm}$) yang mengalami kenaikan kecepatan pada titik stagnasi dan memiliki nilai minimum pada titik separasi. Tetapi untuk angka Reynolds yang lebih besar ($Re\ 750$ dan $Re\ 1000$) titik separasinya lebih tertunda ke daerah belakang silinder.

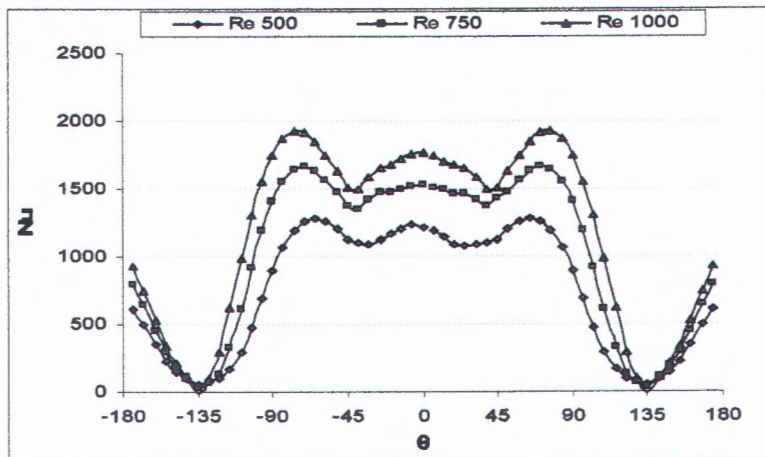


Gambar 4.24 Grafik Velocity magnitude local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 1

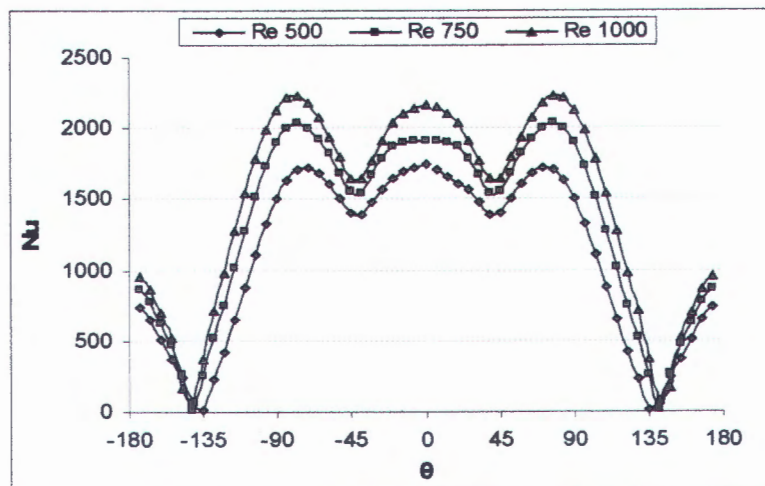


Gambar 4.25 Grafik Velocity magnitude local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 1

Sedangkan pada tube 2 baik angka Nusselt memiliki pola yang hampir sama dengan tube 1 (gambar 4.31 – 4.33)tetapi memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan tube 1 akibat pengaruh aliran yang melintasi tube dan karena pengaruh panas bangkitan yang dimiliki oleh tube itu sendiri.

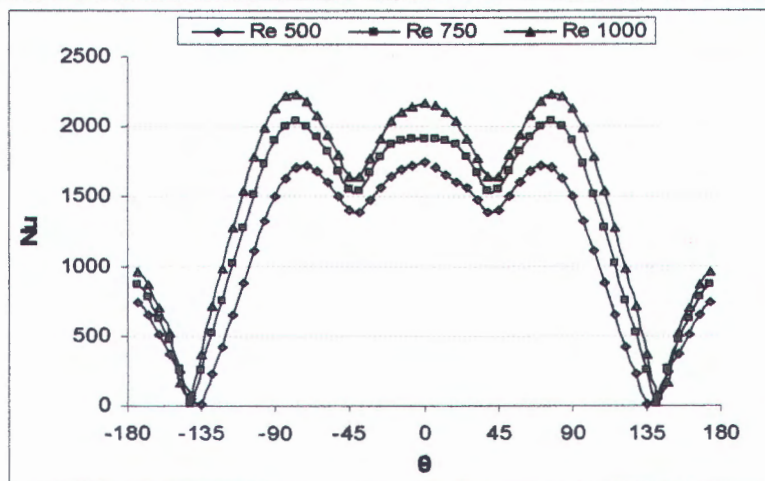


Gambar 4.26 Grafik angka Nusselt local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 2



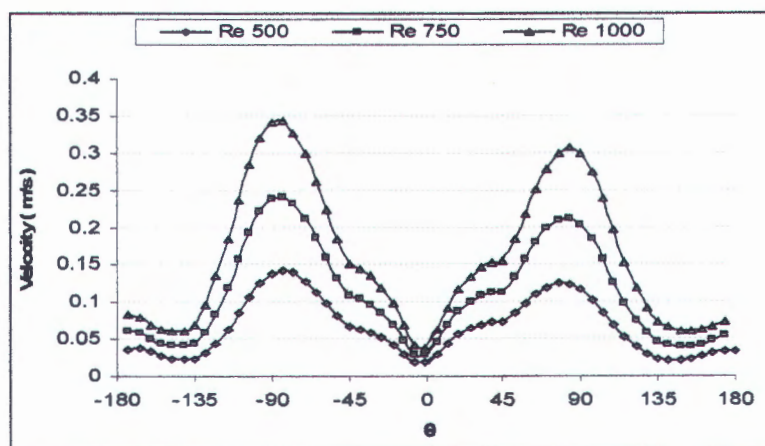
Gambar 4.27 Grafik angka Nusselt local pada $pf = 5\text{mm}$, tube 2

Terlihat bahwa kenaikan angka Nusselt lebih curam pada angka Reynolds yang lebih besar ($Re 750$ dan $Re 1000$), karena terjadi pengurangan ketebalan dari boundary layer maka angka Nusselt nya juga semakin bertambah.

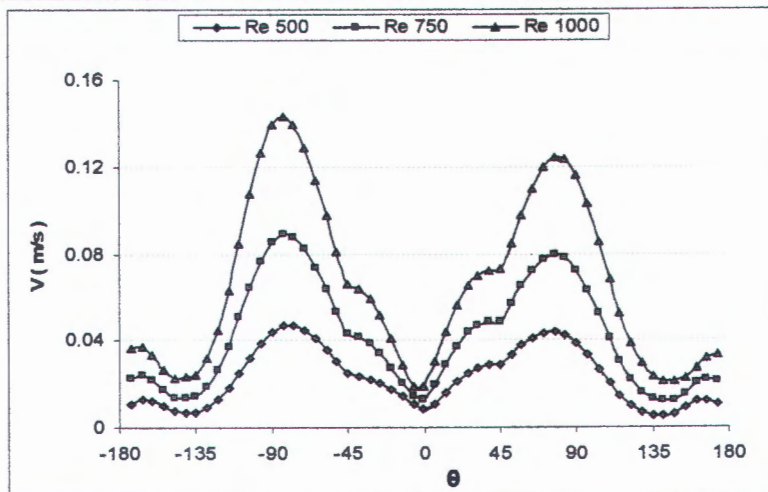


Gambar 4.28 Grafik angka Nusselt local pada $pf = 7\text{mm}$, tube 2

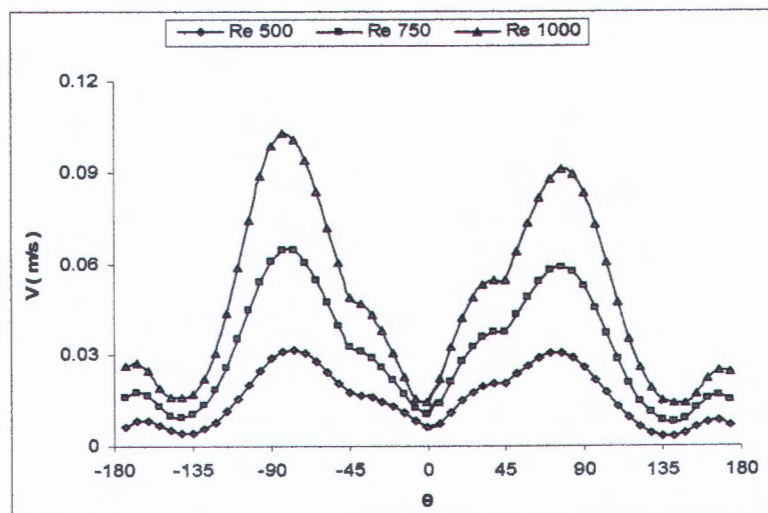
Dari segi kecepatan juga terlihat bahwa kecepatan yang melintasi tube 2 lebih rendah dari tube 1. Hal ini disebabkan adanya pengaruh dari wake tube 1 yang sudah kembali menjadi laminar. Seperti pada tube 1 kecepatan bertambah setelah titik stagnasi dan minimum pada saat terseparasi lepas dan kemudian kecepatannya naik lagi sebagai akibat dari vortex pada daerah wake yang terjadi dibelakang silinder. (gambar 4.29 - 4.31)



Gambar 4.29 Grafik Velocity magnitude local pada $pf = 3\text{mm}$, tube 2



Gambar 4.30 Grafik Velocity magnitude local pada $pf=5\text{mm}$, tube 2



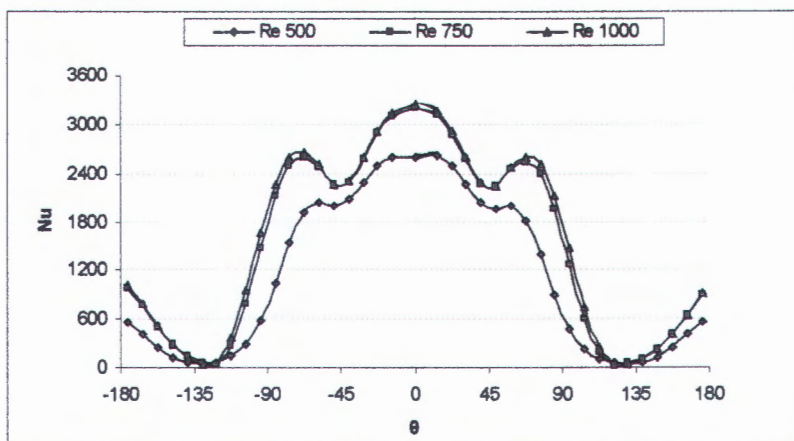
Gambar 4.31 Grafik Velocity magnitude local pada $pf=7\text{mm}$, tube 2

Terlihat bahwa kecepatan yang lebih tinggi pada bagian bawah tube 2 untuk masing – masing jarak sirip dibanding dengan bagian atas tube 2, hal ini disebabkan adanya pengaruh kecepatan didaerah celah antara tube 2 dan 4.

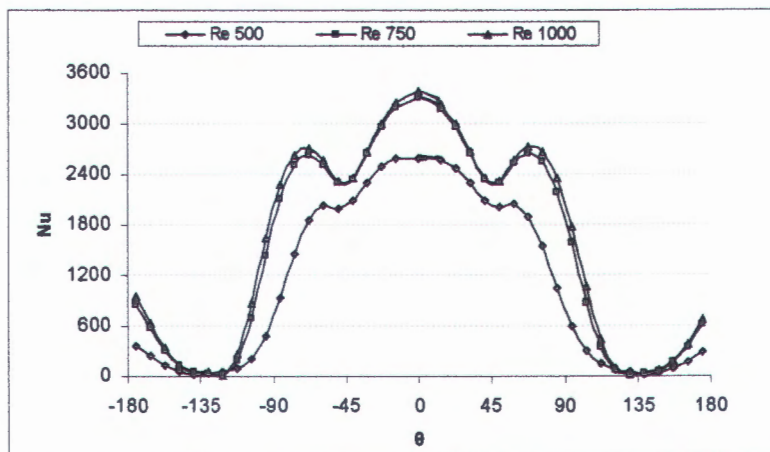


4.4 Analisa Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds terhadap Angka Nusselt Lokal dan Kecepatan Lokal (Staggered)

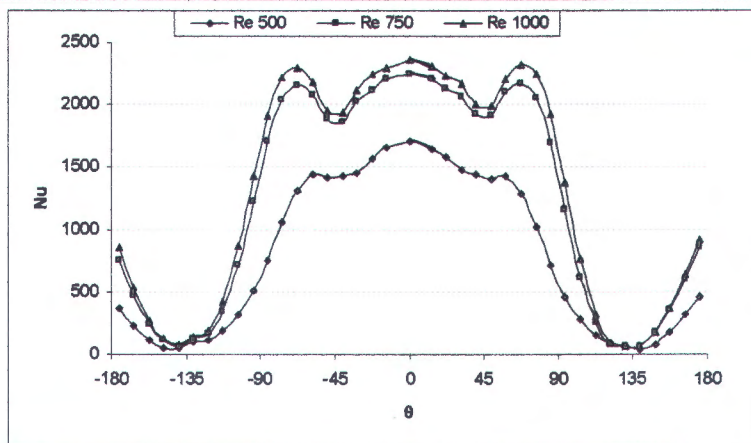
Untuk susunan tube staggered terlihat bahwa pola grafik angka Nusselt lokal untuk tube 1, tube 4 dan tube 5 terlihat hampir sama dengan susunan tube aligned tetapi memiliki nilai yang berbeda, hal ini disebabkan karena dimensi benda dan panas bangkitan yang berbeda untuk susunan aligned dan staggered.



Gambar 4.32 Grafik angka Nusselt local pada $pf=3\text{mm}$, tube 1

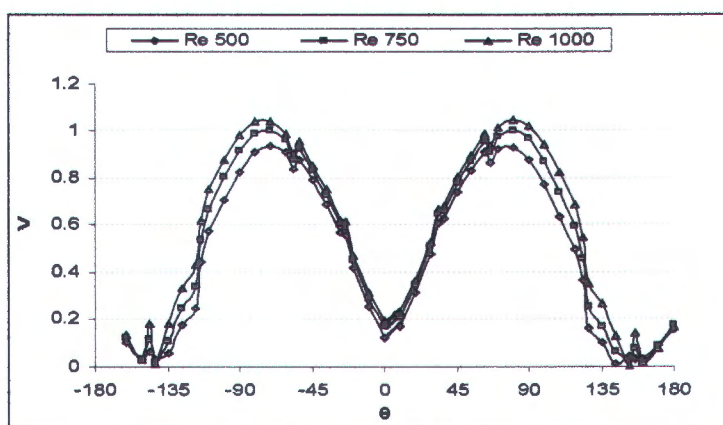


Gambar 4.33 Grafik angka Nusselt local pada $pf=3\text{mm}$, tube 4

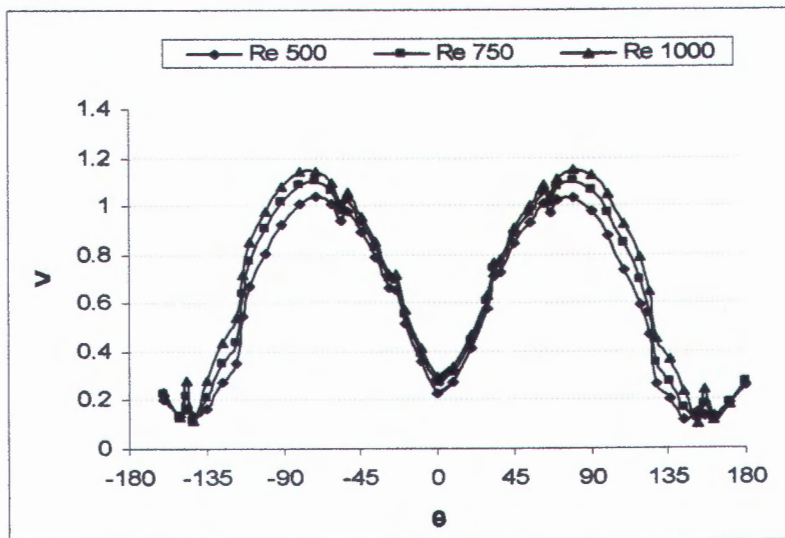


Gambar 4.34 Grafik angka Nusselt local pada $pf=3\text{mm}$, tube 5

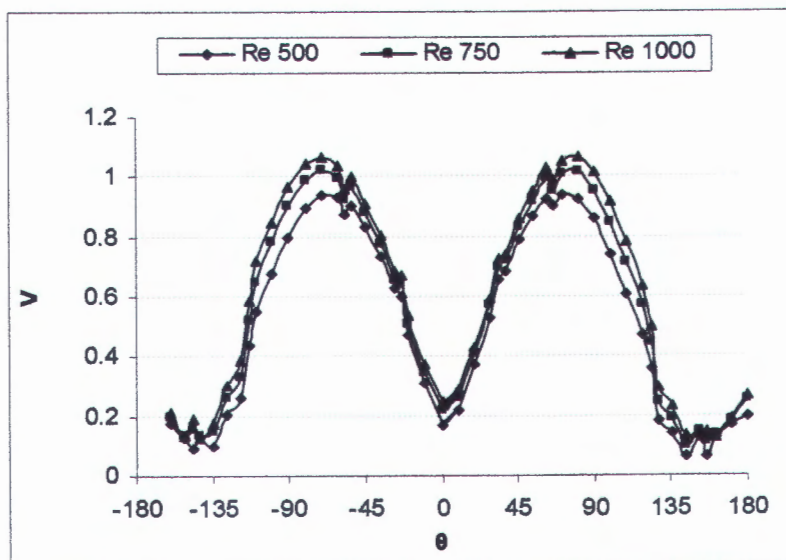
Terlihat setelah titik stagnasi angka Nusselt turun kemudian naik lagi akibat dari bertambahnya kecepatan pada bagian atas dan bawah silinder kemudian turun lagi sampai mencapai titik separasi dan setelah itu mengalami kenaikan lagi akibat dari vortex formation pada daerah wake. Dari gambar 4.32, gambar 4.33 dan gambar 4.34 terlihat bahwa dengan bertambahnya angka Reynolds maka angka Nusseltnya juga ikut bertambah, hal ini disebabkan karena terjadinya pengurangan ketebalan dari boundary layer.



Gambar 4.36 Grafik Velocity magnitude local pada $pf=3\text{mm}$, tube 1



Gambar 4.37 Grafik Velocity magnitude local pada $pf=5\text{mm}$, tube 1

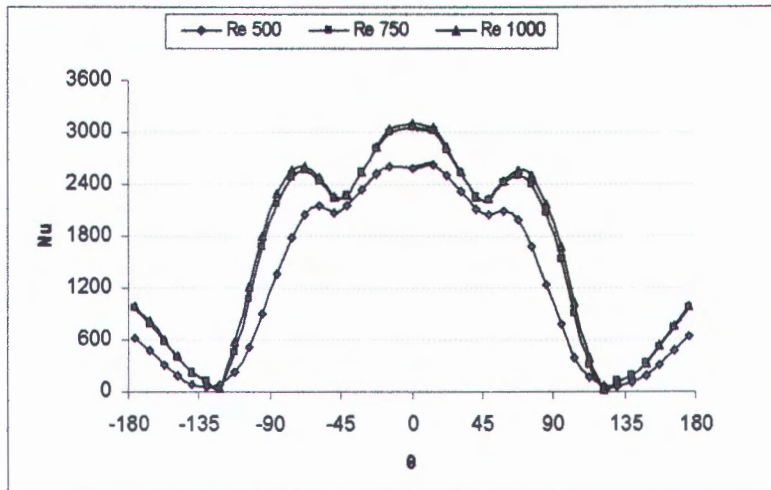


Gambar 4.38 Grafik Velocity magnitude local pada $pf=7\text{mm}$, tube 1

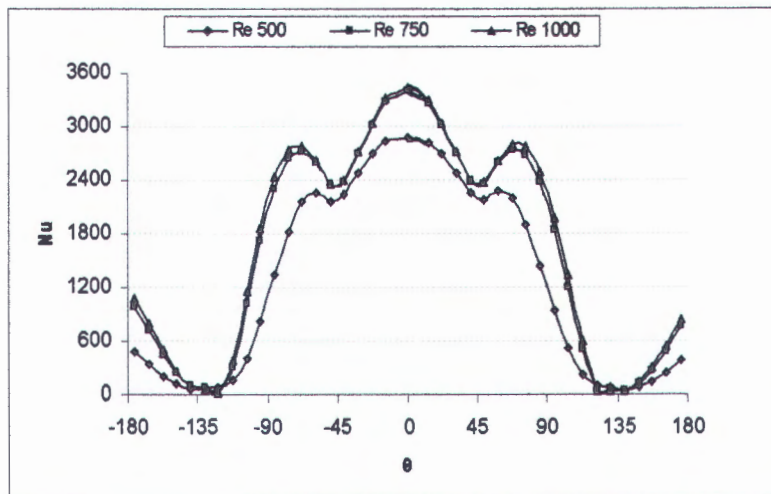
Dari grafik kecepatan juga terlihat bahwa kecepatan semakin naik seiring dengan bertambahnya angka Reynolds pada tube 1 untuk masing – masing jarak



sirip (gambar 4.36, gambar 4.37 dan gambar 4.38).



Gambar 4.39 Grafik angka Nusselt lokal pada $pf=5\text{mm}$, tube 1



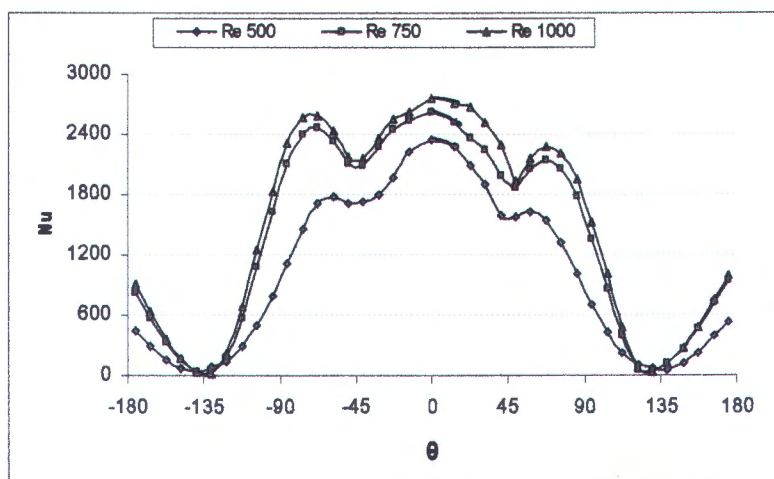
Gambar 4.40 Grafik angka Nusselt lokal pada $pf=5\text{mm}$, tube 3

Pada jarak sirip yang sama ($pf = 5 \text{ mm}$) terlihat bahwa pada tube 1 dan tube 3 memiliki angka Nusselt local yang hampir simetris , hal ini menunjukkan pengaruh dari tube yang berdekatan lemah (sedikit) akibat jarak antara tube yang



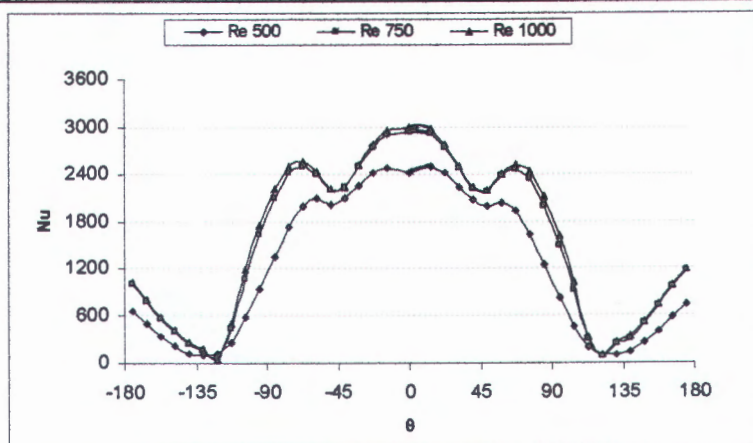
cukup jauh.

Tetapi pada tube 5 (gambar 4.41) terlihat bahwa angka Nusselt tidak lagi simetris pada bagian atas dan bawah tube 5. Dari velocity vector dapat kita lihat bahwa kecepatan pada bagian atas tube 5 lebih besar karena pengaruh dari daerah wake tube 4.

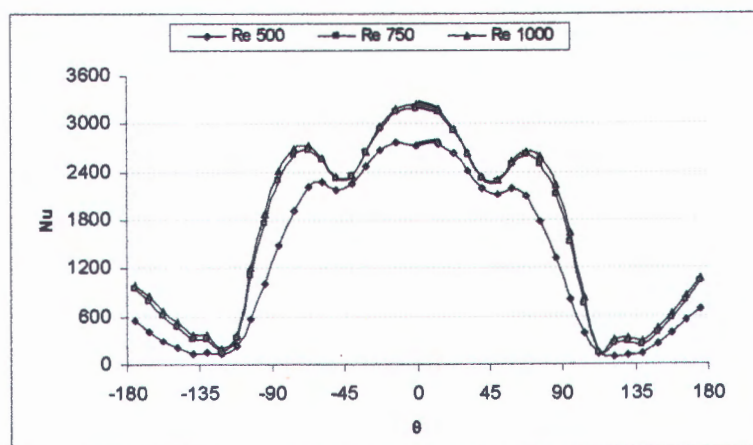


Gambar 4.41 Grafik angka Nusselt local pada $pf=5\text{mm}$, tube 5

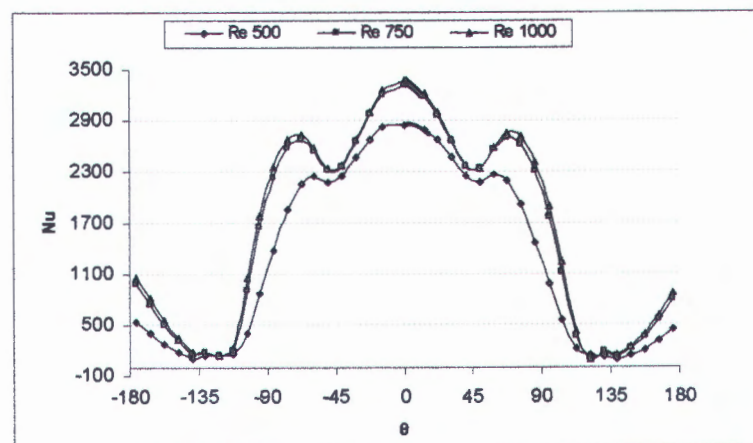
Hal yang sama pun terjadi pada jarak sirip $pf = 7 \text{ mm}$ (gambar 4.42, gambar 4.43 dan 4.44) , terlihat dengan bertambahnya angka Reynold maka angka Nusselt juga akan bertambah, hal ini terjadi karena adanya pengurangan ketebalan boundary layer.



Gambar 4.42 Grafik angka Nusselt local pada $pf=7\text{mm}$, tube 1



Gambar 4.43 Grafik angka Nusselt local pada $pf=7\text{mm}$, tube 3



Gambar 4.44 Grafik angka Nusselt local pada $pf=7\text{mm}$, tube 3



4.5 Analisa Pengaruh Angka Reynolds terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Rerata

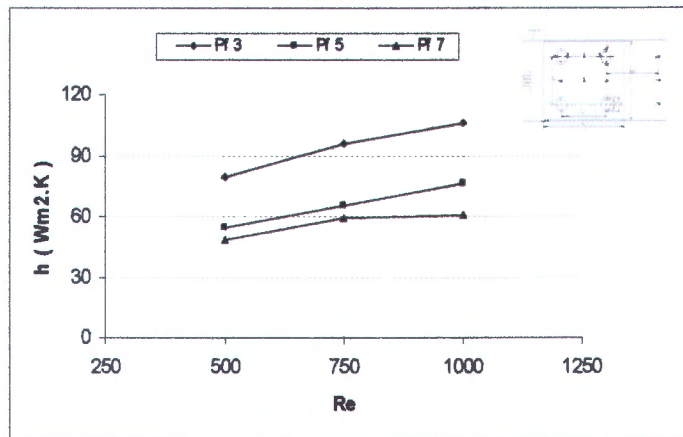
Koefisien perpindahan panas konveksi menunjukkan kemampuan aliran fluida dalam memindahkan atau mentransfer panas. Koefisien perpindahan panas konveksi secara umum dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida, geometri permukaan aliran, dan sifat-sifat (*properties*) dari fluida. Pada kasus konveksi paksa (*forced convection*), kondisi aliran fluida diwakili oleh angka Reynolds sebagai perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viscous.

Pada eksperimen koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata pada model penukar panas diperoleh dari perbandingan antara fluks panas yang dihasilkan terhadap beda suhu permukaan luar rata-rata dengan suhu udara rata-rata. Hal ini secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

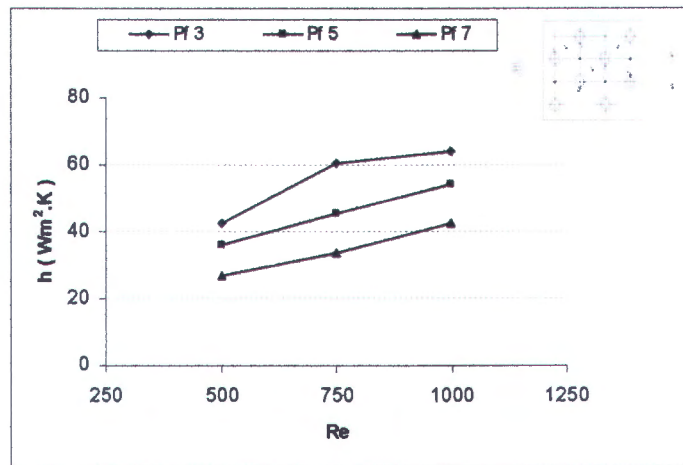
$$\bar{h} = \frac{q''}{(T_{ex} - T_{\infty})} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} \cdot L}{k_f} = f(\text{Re}, \text{Pr}, x^*) \dots\dots\dots (4.2)$$

Harga koefisien perpindahan panas konveksi rerata dipengaruhi juga oleh angka Reynolds sehingga didapatkan hasil pengaruh angka Reynolds terhadap harga koefisien perpindahan panas konveksi rerata sebagai berikut :



(a) Aligned

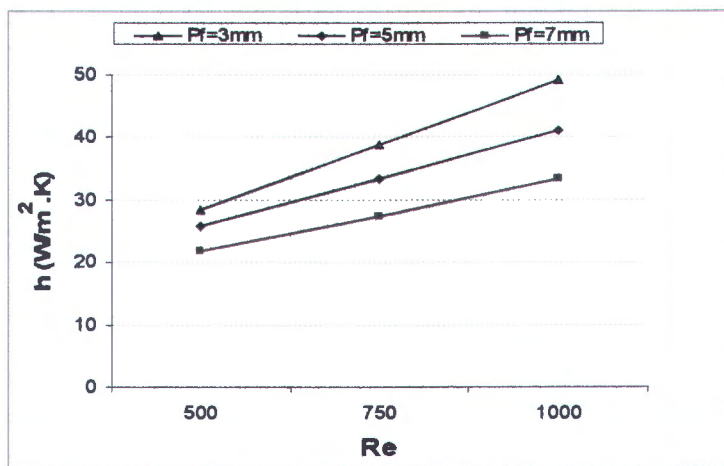


(b) Staggered

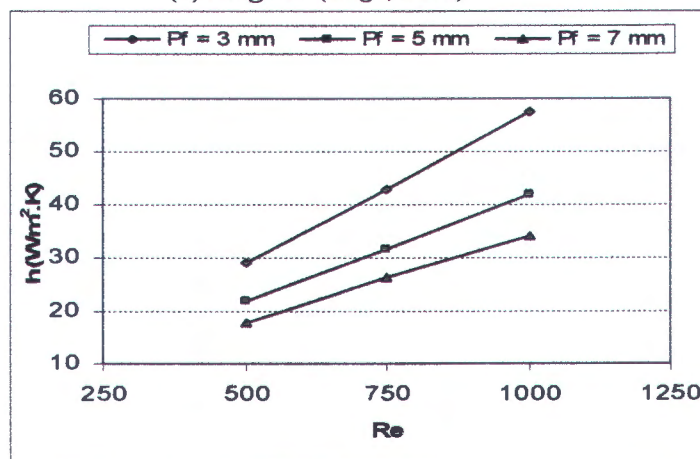
Gambar 4.46 Pengaruh Re terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

Dari grafik 4.46 dapat dianalisa bahwa harga koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata cenderung naik dengan bertambahnya angka Reynolds. Hal ini sesuai persamaan 4.2 pada kasus konveksi paksa, angka Nusselt (Nu) yang berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas konveksi, dipengaruhi oleh angka Reynolds, geometri permukaan, dan sifat-sifat aliran. Angka Reynolds sangat besar pengaruhnya terhadap perubahan angka Nusselt, sehingga dengan naiknya angka Reynolds pada jarak sirip yang konstan, mengakibatkan

naiknya angka Nusselt yang berimbang pada naiknya harga koefisien perpindahan panas konveksi reratanya.



(a) Aligned (Laga, 2004)



(b) Staggered (Salim, 2004)

Gambar 4.47 Pengaruh Re terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (Eksperimen)

Dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh *Laga dan Salim (2004)* terlihat bahwa pada jarak fin yang kecil dengan angka Reynolds yang tinggi ($Re 300$) koefisien perpindahan panasnya tertinggi (gambar 4.47). Hal ini lebih dikarenakan luasan permukaan total perpindahan panasnya yang semakin besar

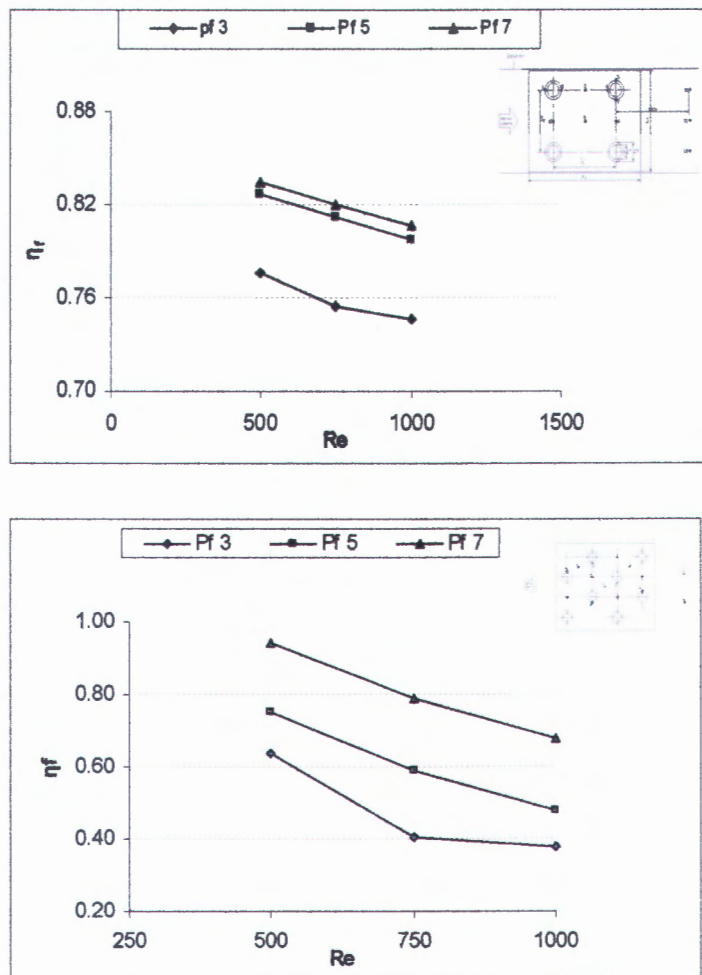


karena jumlah sirip yang banyak (20 buah) pada jarak sirip yang kecil ($pf = 3$ mm).

Dari kedua grafik diatas, harga koefisien perpindahan panas konveksi terbesar dihasilkan oleh model penukar panas yang dioperasikan pada angka Reynolds tertinggi ($Re=1000$). Hal ini mengindikasikan bahwa pada model penukar panas dengan sirip tunggal dan dioperasikan pada angka Reynolds tertinggi ($Re=1000$), kecepatan udara sebagai fluida pendingin di permukaan sirip menjadi paling tinggi sehingga menaikkan angka Reynolds didalamnya (tertinggi) yang juga akan menaikkan angka Nusseltnya (terbesar) sehingga harga koefisien perpindahan panas konveksinya menjadi paling besar diantara ketiganya.

4.6 Analisa Pengaruh Angka Reynolds terhadap Efisiensi Sirip

Sirip (*fin*) digunakan untuk menambah luasan permukaan efektif perpindahan panas sehingga diharapkan juga akan meningkatkan laju perpindahan panas yang terjadi. Sirip tunggal (geometri sirip) tentu akan mempengaruhi karakteristik (unjuk kerja) penukar panas tersebut. Selain itu lingkungan dimana sirip tersebut digunakan juga berpengaruh pada karakteristik penukar panas. Dalam hal ini karakteristik (unjuk kerja) tersebut dikaji dalam bentuk efisiensi sirip. Pengaruh angka Reynolds terhadap efisiensi sirip ditunjukkan pada gambar 4.48 berikut :



Gambar 4.48 Pengaruh angka Reynolds terhadap Efisiensi Sirip (Numerik)

Pada penukar panas dengan sirip tunggal secara rata-rata menghasilkan efisiensi tertinggi pada Reynolds rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa sirip cukup efektif dalam membantu pembuluh melepaskan panas ke udara. Kemampuan pembuluh dalam melepaskan panas ke udara adalah terbatas sehingga dalam proses pelepasan panas, pembuluh menggunakan sirip untuk membantu melepaskan panas ke udara. Dengan jarak sirip yang lebih jauh maka dalam melepaskan panas ke udara, penukar panas ini benar-benar mengefektifkan



Dari gambar 4.49 juga terlihat bahwa pada jarak sirip dari 7 mm ke 5 mm gradien kenaikannya lebih landai sedangkan pada jarak sirip 5 mm ke 3 mm gradien kenaikannya lebih tajam. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan pengurangan jarak sirip akan mempunyai pengaruh yang signifikan, artinya kenaikan efisiensi sirip yang terjadi cukup besar. Tetapi apabila jarak sirip dikurangi lagi maka pengaruhnya tidak begitu signifikan artinya kenaikan efisiensi sirip yang didapatkan tidak begitu besar dibandingkan yang pertama.

Pada kasus konveksi paksa, efisiensi sirip juga dipengaruhi oleh lingkungan dimana penukar panas tersebut dioperasikan. Pengoperasian penukar panas pada beban pendinginan yang tinggi, sehingga kecepatan fluida pendingin (udara) juga harus diperbesar untuk menambah laju alir massa fluida pendingin pembawa panas yang berdampak pada naiknya angka Reynolds, tentu akan mempengaruhi kontribusi tiap sirip dalam membantu pembuluh melepas panas. Dengan bertambahnya angka Reynolds (akibat peningkatan kecepatan), laju alir massa fluida dingin pembawa panas juga akan bertambah sehingga kemampuannya (kapasitas) untuk menyerap panas menjadi lebih besar yang mengakibatkan bertambahnya laju perpindahan panas yang terjadi. Dengan bertambahnya laju perpindahan panas ini, tentu akan menurunkan suhu sirip secara rata-rata relatif lebih besar daripada penurunan suhu pangkalnya karena luas kontak sirip yang lebih besar dibanding luas kontak pembuluhnya, sehingga efisiensi siripnya juga mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat pada gambar grafik 4.48 berikut ini :

Dari grafik tersebut baik eksperimen maupun numerik terlihat bahwa dari



semua penukar panas harga efisiensi sirip cenderung turun dengan naiknya angka Reynolds. Hal ini disebabkan dengan semakin naiknya angka Reynolds maka laju alir massa yang melewati penukar panas semakin besar. Dengan semakin besarnya laju alir massa yang melewati penukar panas maka panas yang dilepaskan secara konveksi oleh penukar panas (baik pembuluh maupun sirip) juga semakin besar atau dapat dikatakan bahwa laju pendinginan oleh udara semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari turunnya suhu rerata sirip maupun suhu rerata pembuluh, tetapi penurunan suhu pada sisi sirip lebih besar dibandingkan penurunan suhu pada sisi tube. Penurunan suhu yang lebih besar pada sisi sirip dapat terjadi karena panas berpindah secara konduksi dari pembuluh ke sirip sedangkan pembuluh sendiri juga mengalami proses konveksi. Karena proses konveksi pada pembuluh inilah menyebabkan suhu pembuluh turun dengan naiknya angka Reynolds sehingga dengan turunnya suhu pembuluh maka panas yang dikonduksikan ke sirip juga berkurang sedangkan pada sirip mengalami pendinginan yang lebih besar dengan naiknya angka Reynolds sehingga penurunan temperatur pada sirip lebih besar. Penurunan suhu sirip ini mengindikasikan kemampuan sirip melepas panas ke udara berkurang sehingga effisiensinya turun.

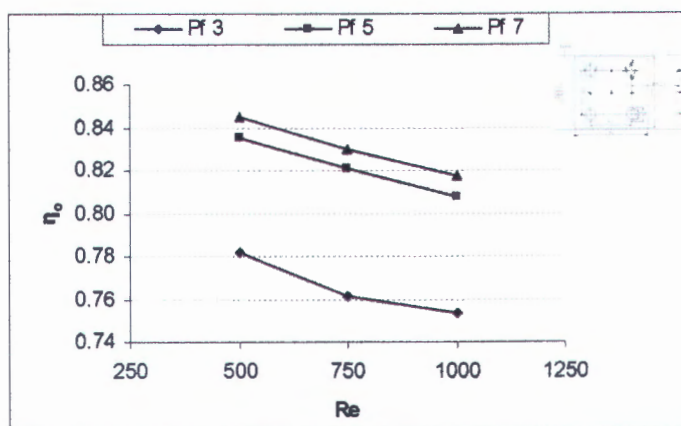
Pada angka Reynolds 500 mempunyai efisiensi sirip tertinggi, hal ini mengindikasikan bahwa sirip lebih efektif melepaskan panas ke udara. Dengan pelepasan panas ke udara yang tidak terlalu besar pada pembuluh maka pembuluh mempunyai suhu yang relatif tinggi, sehingga panas yang dikonduksikan ke ke sirip juga relatif lebih besar. Hal ini mengakibatkan temperatur rerata sirip yang relatif tinggi sehingga kemampuan melepas panas

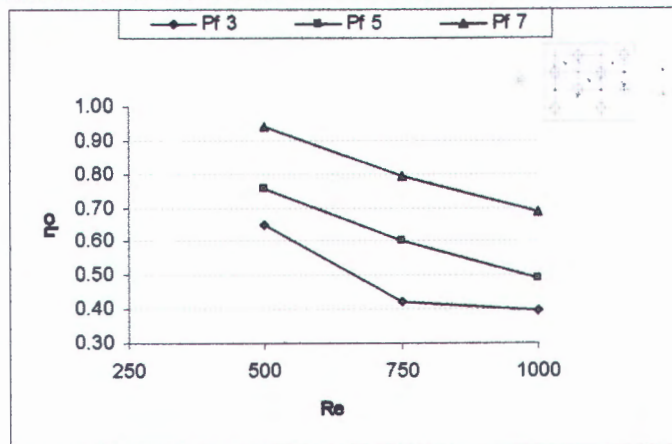


sirip juga besar. Sebaliknya pada angka Reynolds 1000 mempunyai efisiensi sirip paling rendah hal ini mengindikasikan bahwa sirip kurang efektif dalam membantu pembuluh dalam melepas panas ke udara.

4.7 Analisa Pengaruh Angka Reynolds terhadap Efisiensi Permukaan Menyeluruh (*Overall Surface Efficiency*)

Untuk menganalisa secara keseluruhan susunan sirip yang terpasang, dapat diwujudkan dalam bentuk efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*). Efisiensi permukaan menyeluruh dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimal. Laju perpindahan panas aktual yang dimaksud adalah laju perpindahan panas yang melewati pembuluh dan sirip, dengan suhu ujung sirip berbeda dari suhu pangkalnya. Pengaruh jarak sirip terhadap efisiensi permukaan menyeluruh dapat dilihat dari grafik 4.50 berikut :



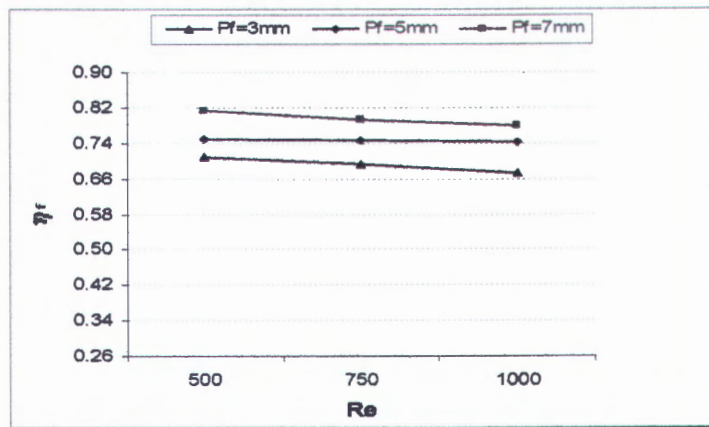


Gambar 4.50 Pengaruh angka Reynolds terhadap Efisiensi Overall (Numerik)

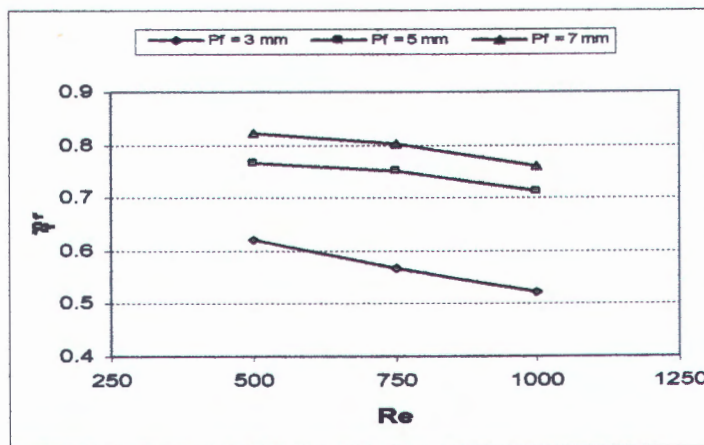
Efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*) menunjukkan efisiensi sirip dengan memperhitungkan faktor luasan sirip dan luasan tanpa sirip (*unfinned surface area*) yang memiliki harga efisiensi seratus persen. Persamaan 2.13 (pada bab II) telah menjelaskan bahwa variabel yang berpengaruh terhadap efisiensi permukaan menyeluruh adalah efisiensi sirip, luasan sirip, dan luasan pembuluh. Dari gambar 4.50 diatas, secara umum trend grafik efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*) sama dengan trend grafik efisiensi sirip untuk satu sirip (*single fin*), hanya saja harganya mengalami kenaikan karena sudah memperhitungkan luasan tanpa sirip. Dengan memperlebar jarak/spasi sirip (semakin sedikit jumlah sirip yang terpasang), perbandingan luasan efektif sirip terhadap luasan efektif total dari model penukar panas menjadi berkurang, disamping itu efisiensi sirip semakin besar karena kontribusi tiap sirip membantu pembuluh melepaskan panas juga semakin besar sehingga kedua faktor tersebut menaikkan harga efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*) dari model penukar panas.



fungsi sirip untuk membantu pembuluh melepaskan panas ke udara. Atau dengan kata lain, dengan jarak sirip yang besar menyebabkan kontribusi sirip dalam membantu pembuluh melepaskan panas akan lebih tinggi, sehingga efisiensi dari sirip meningkat. Hal ini dapat dilihat dari suhu permukaan sirip rerata yang tinggi dan penurunan suhu sirip dari suhu pangkalnya (pembuluh) yang rendah. Dengan suhu permukaan rerata yang tinggi maka beda temperatur dengan udara luar juga tinggi sehingga panas yang dilepaskan sirip ke udara juga tinggi.



(a) Aligned (Laga, 2004)



(b) Staggered (Salim, 2004)

Gambar 4.49 Pengaruh angka Reynolds terhadap Efisiensi Sirip



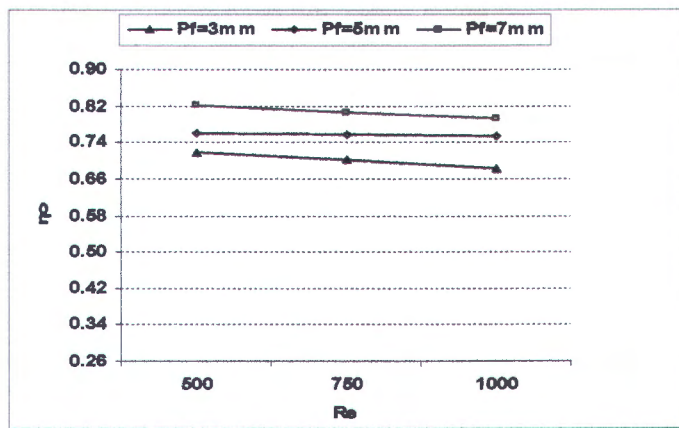
Pada kondisi lingkungan yang bervariasi, sebagai contoh untuk tingkat pembebanan yang bervariasi, perubahan kecepatan aliran fluida dingin yang mengakibatkan perubahan angka Reynolds juga akan mempengaruhi efisiensi permukaan menyeluruh (*overall surface efficiency*) dari penukar panas yang dioperasikan.

Untuk kasus konveksi paksa (*forced convection*), dengan bertambahnya angka Reynolds (akibat peningkatan kecepatan), laju alir massa fluida dingin pembawa panas juga akan bertambah sehingga kemampuannya (kapasitas) untuk menyerap panas menjadi lebih besar yang mengakibatkan bertambahnya laju perpindahan panas yang terjadi. Dengan bertambahnya laju perpindahan panas ini, tentu akan menurunkan suhu sirip secara rata-rata relatif lebih besar daripada penurunan suhu pangkalnya karena luas permukaan efektif (kontak) sirip yang lebih besar dibanding luas permukaan efektif (kontak) pembuluhnya, sehingga efisiensi siripnya juga mengalami penurunan. Dengan penurunan efisiensi sirip secara rata-rata dan perbandingan luasan efektif sirip terhadap luasan efektif total dari model penukar panas yang tetap/konstan (untuk variasi angka Reynolds), tentu akan menurunkan harga efisiensi permukaan menyeluruhnya sesuai persamaan (2.13).

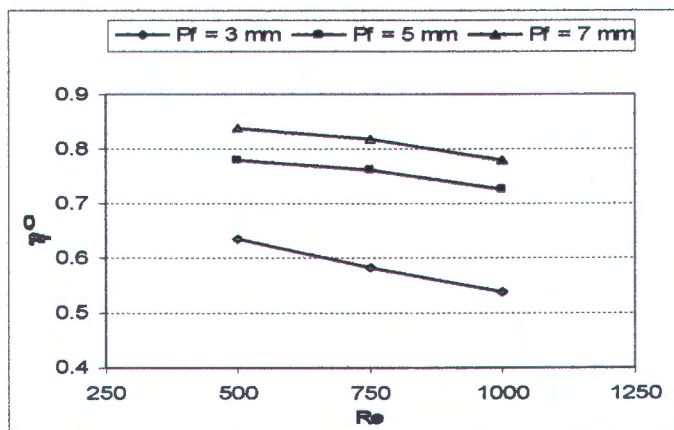
Hasil dari eksperimen yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu (Laga dan Salim, 2004) tidak dapat dibandingkan. Hal ini disebabkan karena dimensi dan bentuk sirip yang berbeda. Dimana pada eksperimen bentuk siripnya bergelombang dan terdiri dari beberapa sirip yang tersusun secara kontinyu



dengan jarak tertentu ($pf = 3 \text{ mm}$, $pf = 5 \text{ mm}$, $pf = 7 \text{ mm}$). Sedangkan pada pemodelan numerik hanya menggunakan satu sirip bentuk plat datar dengan susunan tube aligned dan staggered. Sehingga hasil yang diperoleh walaupun memiliki tren / pola grafik yang sama tetapi pada eksperimen analisisnya lebih dipengaruhi oleh dimensi / luasan dari benda kerja, sedangkan pada numerik analisa perpindahan panasnya dianalisa lebih kearah pola aliran.



(a) Aligned (Laga, 2004)



(b) Staggered (Salim, 2004)

Gambar 4.56 Pengaruh angka Reynolds terhadap Efisiensi Overall
(Eksperimen)





BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian secara numerik terhadap susunan tube *aligned* dan *staggered* bersirip tunggal (satu) yang memvariasikan angka Reynolds (Re); 500, 750, 1000, serta daya listrik *heater* yang konstan (128 W/tube untuk *aligned* dan 480 watt untuk *staggered*) didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Model penukar panas dengan single fin (sirip tunggal), pada angka Reynolds terendah (Re 500) menghasilkan :
 - a. Untuk susunan tube *aligned*, efisiensi fin (η_f) tertinggi (83,52 %) dan efisiensi *overall* (η_o) tertinggi(84,47 %)
 - b. Untuk susunan tube *staggered*, efisiensi fin (η_f) tertinggi (94 %) dan efisiensi *overall* (η_o) tertinggi(96.21 %).
2. Model penukar panas dengan fin tunggal, pada angka Reynolds tertinggi (Re 1000) menghasilkan angka Nusselt yang tertinggi pula untuk susunan tube *aligned* dan *staggered*
3. Sedangkan semakin besar angka Reynolds (500 ke 1000) maka efisiensi fin dan efisiensi *overall* turun.



V.2 Saran

- Untuk mengetahui fenomena aliran udara didalam model penukar panas (kondisi lapisan batas aliran dan termalnya) dibutuhkan simulasi pemodelan menggunakan perangkat lunak komputer (FLUENT, ANSYS) dengan jumlah sirip lebih dari satu dan jenis sirip yang bergelombang. Hal ini diperlukan guna mendukung analisa terhadap karakteristik model penukar panas ini.
- Referensi jarak titik pengukuran fluida keluar (T_{out}) dari model penukar panas perlu didapatkan sehingga pengukurannya lebih tepat.
- Tingkat pembebanan (fluks panas *heater*) dan kondisi lingkungan (angka Reynolds) perlu divariasikan lebih banyak lagi sehingga bisa dianalisa lebih lanjut tentang karakteristik model penukar panas ini akibat kedua hal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Bejan, A.**, "*Heat Transfer*", John Willey & Sons, Inc, New York, 1993.
2. **Chin-Hsiang Cheng and Feng -Liang Liao**, "*DSMC Analysis of Rarefied Gas Flow Over a Rectangular Cylinder at All Knudsen Numbers*", Jurnal Transaction of the ASME, 2000
3. **Fauzi, Imron**, "*Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Unjuk Kerja Penukar Panas Woven Matrix Anyaman Ganda*", Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2004.
4. **Incropera, Frank P. and David P. Dewit**, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Fourth Edition, John Willey & Sons Co, New York, 1999.
5. **Igarashi, Tamotsu, Hajime Nakamura and Taketo Fukuoka**, "*Pressure Drop and Heat Transfer of Arrays of in-line Circular Blocks on The Wall of Parallel Channel*", International Journal of Heat and Mass Transfer, 2004
6. **Laga, Arif**, "*Studi Eksperimen Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap Unjuk Kerja Susunan Tube Aligned Bersirip Kontinyu*" Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2004.
7. **Kays, W.M. and London A.L.**, "*Compact Heat Exchanger*", 2nd edition, Mc Graw Hill, New York, 1993.
8. **Kakac, Sadic & Liu, Hong Tan**, "*Heat Exchanger Selection, Rating and Thermal Design*", CRC Press LLC, New York, 1998.
9. **Kern, D.Q.**, "*Proses Heat Transfer*" Mc. Graw Hill, Tokyo, 1983.

10. Keith, F dan Priyono, A., "*Prinsip-Prinsip Perpindahan panas*", Edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
11. Kuswanto, Slamet A., "*Redesign Alat Penukar Kalor Tipe Continuous Fin Shell And Tube Untuk Oil Cooler Pada Kompresor Tipe GA 160 Dengan Optimasi Jumlah Sirip*", Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2003.
12. Moran, Michael J. & Howard, N. Shapiro, "*Fundamental of Engineering Thermodynamics*", 2nd edition, John Willey & Sons, New York, 1993.
13. Meinders, E.R and Hanjalic, K, "*Experimental Study of Convective Heat Transfer from in-line and staggered Configurations of two wall-mounted cubes*", International Journal of Heat and Mass Transfer, 2002
14. Salim, Abu "*Studi Eksperimen Pengaruh Jarak Sirip dan Angka Reynolds Terhadap Unjuk Kerja Susunan Tube Staggered Bersirip Kontinyu*", Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2004.
15. Shah R.K. dan Webb R.L., "*Compact and Enhanced Heat Exchangers*".
Jurnal.
16. Zhao, Xiangwei, "*Performance of Single Row Heat Exchanger at Low In-Tube Flow Rates*", Tesis, 1995.

Lampiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Nu Aligned Re 500, P_{f3}, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2456.332
2	-0.0074528	-0.0008397	-6.4	2420.46
3	-0.007312	-0.0016689	-12.9	2333.213
4	-0.0070791	-0.0024771	-19.3	2206.557
5	-0.0067573	-0.0032541	-25.7	2058.131
6	-0.0063504	-0.0039902	-32.2	1902.499
7	-0.0058637	-0.0046762	-38.6	1751.622
8	-0.0053033	-0.0053033	-45.0	1742.764
9	-0.0046762	-0.0058637	-51.5	1866.625
10	-0.0039902	-0.0063504	-57.9	1971.325
11	-0.0032541	-0.0067573	-64.3	2033.922
12	-0.0024771	-0.0070791	-70.8	2023.64
13	-0.0016689	-0.007312	-77.2	1889.091
14	-0.0008397	-0.0074528	-83.6	1578.883
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1066.613
16	0.0008397	-0.0074528	-96.4	455.8052
17	0.0016689	-0.007312	-102.8	91.73142
18	0.0024771	-0.0070791	-109.2	215.9024
19	0.0032541	-0.0067573	-115.7	356.6196
20	0.0039902	-0.0063504	-122.1	428.7949
21	0.0046762	-0.0058637	-128.5	473.8314
22	0.0053033	-0.0053033	-135.0	567.9945
23	0.0058637	-0.0046762	-141.4	705.894
24	0.0063504	-0.0039902	-147.8	848.8789
25	0.0067573	-0.0032541	-154.3	987.7545
26	0.0070791	-0.0024771	-160.7	1114.678
27	0.007312	-0.0016689	-167.1	1217.922
28	0.0074528	-0.0008397	-173.6	1296.819
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	2467.548
30	-0.0074528	0.0008397	6.4	2422.199
31	-0.007312	0.0016689	12.9	2328.531
32	-0.0070791	0.0024771	19.3	2198.216
33	-0.0067573	0.0032541	25.7	2047.57
34	-0.0063504	0.0039902	32.2	1890.505
35	-0.0058637	0.0046762	38.6	1738.875
36	-0.0053033	0.0053033	45.0	1726.824
37	-0.0046762	0.0058637	51.5	1843.103
38	-0.0039902	0.0063504	57.9	1935.427
39	-0.0032541	0.0067573	64.3	1976.993
40	-0.0024771	0.0070791	70.8	1923.931
41	-0.0016689	0.007312	77.2	1712.736
42	-0.0008397	0.0074528	83.6	1283.734
43	4.59E-19	0.0075	90.0	668.6691
44	0.0008397	0.0074528	96.4	158.8429
45	0.0016689	0.007312	102.8	184.4982
46	0.0024771	0.0070791	109.2	382.1058
47	0.0032541	0.0067573	115.7	487.7449
48	0.0039902	0.0063504	122.1	539.2114
49	0.0046762	0.0058637	128.5	593.6486
50	0.0053033	0.0053033	135.0	681.6101
51	0.0058637	0.0046762	141.4	813.9934
52	0.0063504	0.0039902	147.8	953.1101
53	0.0067573	0.0032541	154.3	1084.957
54	0.0070791	0.0024771	160.7	1201.912
55	0.007312	0.0016689	167.1	1293.182
56	0.0074528	0.0008397	173.6	1350.221
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.183

Nu Aligned Re 750, P_{f3}, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2684.91
2	-0.007453	-0.00084	-6.4	2635.12
3	-0.007312	-0.001669	-12.9	2528.27
4	-0.007079	-0.002477	-19.3	2380.15
5	-0.006757	-0.003254	-25.7	2210.6
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2036.44
7	-0.005864	-0.004676	-38.6	1870.25
8	-0.005303	-0.005303	-45.0	1866.25
9	-0.004676	-0.005864	-51.5	2017.23
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2160.99
11	-0.003254	-0.006757	-64.3	2278.48
12	-0.002477	-0.007079	-70.8	2344.05
13	-0.001669	-0.007312	-77.2	2319.02
14	-0.00084	-0.007453	-83.6	2151.58
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1768.33
16	0.0008397	-0.007453	-96.4	1059.31
17	0.0016689	-0.007312	-102.8	257.999
18	0.0024771	-0.007079	-109.2	328.051
19	0.0032541	-0.006757	-115.7	661.97
20	0.0039902	-0.00635	-122.1	744.512
21	0.0046762	-0.005864	-128.5	775.032
22	0.0053033	-0.005303	-135.0	856.99
23	0.0058637	-0.004676	-141.4	1007.38
24	0.0063504	-0.00399	-147.8	1160.53
25	0.0067573	-0.003254	-154.3	1310.13
26	0.0070791	-0.002477	-160.7	1447.33
27	0.007312	-0.001669	-167.1	1557.4
28	0.0074528	-0.00084	-173.6	1631.94
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	2694.78
30	-0.007453	0.0008397	6.4	2637.39
31	-0.007312	0.0016689	12.9	2525.79
32	-0.007079	0.0024771	19.3	2375.06
33	-0.006757	0.0032541	25.7	2204.02
34	-0.00635	0.0039902	32.2	2028.95
35	-0.005864	0.0046762	38.6	1862.29
36	-0.005303	0.0053033	45.0	1856.44
37	-0.004676	0.0058637	51.5	2003.08
38	-0.00399	0.0063504	57.9	2139.92
39	-0.003254	0.0067573	64.3	2245.9
40	-0.002477	0.0070791	70.8	2291.11
41	-0.001669	0.007312	77.2	2221.63
42	-0.00084	0.0074528	83.6	1964.86
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1399.09
44	0.0008397	0.0074528	96.4	516.985
45	0.0016689	0.007312	102.8	238.954
46	0.0024771	0.0070791	109.2	663.999
47	0.0032541	0.0067573	115.7	806.753
48	0.0039902	0.0063504	122.1	852.414
49	0.0046762	0.0058637	128.5	872.42
50	0.0053033	0.0053033	135.0	943.95
51	0.0058637	0.0046762	141.4	1089.34
52	0.0063504	0.0039902	147.8	1240.6
53	0.0067573	0.0032541	154.3	1386.9
54	0.0070791	0.0024771	160.7	1517.81
55	0.007312	0.0016689	167.1	1618.7
56	0.0074528	0.0008397	173.6	1666.39
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.18

Nu Aligned Re 1000, P_{f3}, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2795.321
2	-0.00745	-0.00084	-6.4	2748.513
3	-0.00731	-0.00167	-12.9	2630.906
4	-0.00708	-0.00248	-19.3	2471.053
5	-0.00676	-0.00325	-25.7	2290.041
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2105.317
7	-0.00586	-0.00468	-38.6	1930.52
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1928.294
9	-0.00468	-0.00586	-51.5	2092.764
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2256.035
11	-0.00325	-0.00676	-64.3	2400.975
12	-0.00248	-0.00708	-70.8	2504.164
13	-0.00167	-0.00731	-77.2	2536.056
14	-0.00084	-0.00745	-83.6	2456.087
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2210.62
16	0.00084	-0.00745	-96.4	1683.79
17	0.001669	-0.00731	-102.8	693.4583
18	0.002477	-0.00708	-109.2	356.0309
19	0.003254	-0.00676	-115.7	897.9994
20	0.00399	-0.00635	-122.1	974.3862
21	0.004676	-0.00586	-128.5	985.7737
22	0.005303	-0.0053	-135.0	1053.746
23	0.005864	-0.00468	-141.4	1213.097
24	0.00635	-0.00399	-147.8	1375.882
25	0.006757	-0.00325	-154.3	1534.652
26	0.007079	-0.00248	-160.7	1679.503
27	0.007312	-0.00167	-167.1	1793.267
28	0.007453	-0.00084	-173.6	1859.388
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1860.333
30	-0.00745	0.00084	6.4	2750.94
31	-0.00731	0.001669	12.9	2629.54
32	-0.00708	0.002477	19.3	2467.641
33	-0.00676	0.003254	25.7	2285.488
34	-0.00635	0.00399	32.2	2100.128
35	-0.00586	0.004676	38.6	1924.937
36	-0.0053	0.005303	45.0	1921.6
37	-0.00468	0.005864	51.5	2083.146
38	-0.00399	0.00635	57.9	2241.88
39	-0.00325	0.006757	64.3	2379.513
40	-0.00248	0.007079	70.8	2470.797
41	-0.00167	0.007312	77.2	2477.795
42	-0.00084	0.007453	83.6	2346.487
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1991.359
44	0.00084	0.007453	96.4	1169.05
45	0.001669	0.007312	102.8	307.5125
46	0.002477	0.007079	109.2	799.0283
47	0.003254	0.006757	115.7	1027.185
48	0.00399	0.00635	122.1	1064.349
49	0.004676	0.005864	128.5	1053.635
50	0.005303	0.005303	135.0	1114.893
51	0.005864	0.004676	141.4	1270.543
52	0.00635	0.00399	147.8	1429.961
53	0.006757	0.003254	154.3	1585.534
54	0.007079	0.002477	160.7	1725.755
55	0.007312	0.001669	167.1	1828.257
56	0.007453	0.00084	173.6	1869.51
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.183

Lampiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Nu Aligned Re 500, Pf5, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2527.726
2	-0.0074528	-0.0008397	-6.4	2524.698
3	-0.007312	-0.0016689	-12.9	2433.38
4	-0.0070791	-0.0024771	-19.3	2302.069
5	-0.0067573	-0.0032541	-25.7	2148.745
6	-0.0063504	-0.0039902	-32.2	1987.962
7	-0.0058637	-0.0046762	-38.6	1834.313
8	-0.0053033	-0.0053033	-45.0	1826.86
9	-0.0046762	-0.0058637	-51.5	1961.418
10	-0.0039902	-0.0063504	-57.9	2083.645
11	-0.0032541	-0.0067573	-64.3	2175.228
12	-0.0024771	-0.0070791	-70.8	2213.617
13	-0.0016689	-0.007312	-77.2	2170.728
14	-0.0008397	-0.0074528	-83.6	2020.878
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1738.874
16	0.0008397	-0.0074528	-96.4	1266.904
17	0.0016689	-0.007312	-102.8	572.7769
18	0.0024771	-0.0070791	-109.2	168.5738
19	0.0032541	-0.0067573	-115.7	465.3892
20	0.0039902	-0.0063504	-122.1	620.0137
21	0.0046762	-0.0058637	-128.5	668.579
22	0.0053033	-0.0053033	-135.0	729.6215
23	0.0058637	-0.0046762	-141.4	851.0949
24	0.0063504	-0.0039902	-147.8	981.9254
25	0.0067573	-0.0032541	-154.3	1107.178
26	0.0070791	-0.0024771	-160.7	1215.611
27	0.007312	-0.0016689	-167.1	1289.753
28	0.0074528	-0.0008397	-173.6	1326.893
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1354.856
30	-0.0074528	0.0008397	6.4	2527.726
31	-0.007312	0.0016689	12.9	2430.432
32	-0.0070791	0.0024771	19.3	2295.894
33	-0.0067573	0.0032541	25.7	2140.709
34	-0.0063504	0.0039902	32.2	1978.838
35	-0.0058637	0.0046762	38.6	1824.579
36	-0.0053033	0.0053033	45.0	1814.943
37	-0.0046762	0.0058637	51.5	1944.262
38	-0.0039902	0.0063504	57.9	2058.221
39	-0.0032541	0.0067573	64.3	2136.842
40	-0.0024771	0.0070791	70.8	2154.439
41	-0.0016689	0.007312	77.2	2076.453
42	-0.0008397	0.0074528	83.6	1870.13
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1486.664
44	0.0008397	0.0074528	96.4	837.9362
45	0.0016689	0.007312	102.8	230.9446
46	0.0024771	0.0070791	109.2	397.7381
47	0.0032541	0.0067573	115.7	673.3257
48	0.0039902	0.0063504	122.1	759.6004
49	0.0046762	0.0058637	128.5	775.0147
50	0.0053033	0.0053033	135.0	840.0383
51	0.0058637	0.0046762	141.4	965.9118
52	0.0063504	0.0039902	147.8	1096.73
53	0.0067573	0.0032541	154.3	1215.913
54	0.0070791	0.0024771	160.7	1306.534
55	0.007312	0.0016689	167.1	1354.712
56	0.0074528	0.0008397	173.6	1350.056
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.183

Nu Aligned Re 750, Pf5, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2735.82
2	-0.007453	-0.00084	-6.4	2685.74
3	-0.007312	-0.001669	-12.9	2577.88
4	-0.007079	-0.002477	-19.3	2428.96
5	-0.006757	-0.003254	-25.7	2258.62
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2082.81
7	-0.005864	-0.004676	-38.6	1915.78
8	-0.005303	-0.005303	-45.0	1911.02
9	-0.004676	-0.005864	-51.5	2066.06
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2217.13
11	-0.003254	-0.006757	-64.3	2347.19
12	-0.002477	-0.007079	-70.8	2434.23
13	-0.001669	-0.007312	-77.2	2451.4
14	-0.00084	-0.007453	-83.6	2373.03
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2173.84
16	0.0008397	-0.007453	-96.4	1820.89
17	0.0016689	-0.007312	-102.8	1127.19
18	0.0024771	-0.007079	-109.2	347.932
19	0.0032541	-0.006757	-115.7	674.479
20	0.0039902	-0.00635	-122.1	909.298
21	0.0046762	-0.005864	-128.5	928.666
22	0.0053033	-0.005303	-135.0	973.999
23	0.0058637	-0.004676	-141.4	1106.04
24	0.0063504	-0.00399	-147.8	1244.38
25	0.0067573	-0.003254	-154.3	1376.29
26	0.0070791	-0.002477	-160.7	1486.57
27	0.007312	-0.001669	-167.1	1558.31
28	0.0074528	-0.00084	-173.6	1587.55
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1591.24
30	-0.007453	0.0008397	6.4	2688.82
31	-0.007312	0.0016689	12.9	2576.34
32	-0.007079	0.0024771	19.3	2424.93
33	-0.006757	0.0032541	25.7	2253.19
34	-0.00635	0.0039902	32.2	2076.65
35	-0.005864	0.0046762	38.6	1909.22
36	-0.005303	0.0053033	45.0	1903.07
37	-0.004676	0.0058637	51.5	2054.7
38	-0.00399	0.0063504	57.9	2200.4
39	-0.003254	0.0067573	64.3	2322.02
40	-0.002477	0.0070791	70.8	2395.81
41	-0.001669	0.007312	77.2	2390.16
42	-0.00084	0.0074528	83.6	2273.01
43	4.59E-19	0.0075	90.0	2010.22
44	0.0008397	0.0074528	96.4	1478.36
45	0.0016689	0.007312	102.8	574.137
46	0.0024771	0.0070791	109.2	515.677
47	0.0032541	0.0067573	115.7	959.293
48	0.0039902	0.0063504	122.1	1027.9
49	0.0046762	0.0058637	128.5	1005.85
50	0.0053033	0.0053033	135.0	1053.33
51	0.0058637	0.0046762	141.4	1187.3
52	0.0063504	0.0039902	147.8	1325.33
53	0.0067573	0.0032541	154.3	1450.69
54	0.0070791	0.0024771	160.7	1546.81
55	0.007312	0.0016689	167.1	1599.04
56	0.0074528	0.0008397	173.6	1592.57
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.18

Nu Aligned Re 1000, Pf, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2831.217
2	-0.00745	-0.00084	-6.4	2774.117
3	-0.00731	-0.00167	-12.9	2656.565
4	-0.00708	-0.00248	-19.3	2497.11
5	-0.00676	-0.00325	-25.7	2316.59
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2132.126
7	-0.00586	-0.00468	-38.6	1957.565
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1954.194
9	-0.00468	-0.00586	-51.5	2120.244
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2286.723
11	-0.00325	-0.00676	-64.3	2437.408
12	-0.00248	-0.00708	-70.8	2550.734
13	-0.00167	-0.00731	-77.2	2600.909
14	-0.00084	-0.00745	-83.6	2563.604
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2417.557
16	0.00084	-0.00745	-96.4	2142.659
17	0.001669	-0.00731	-102.8	1633.547
18	0.002477	-0.00708	-109.2	663.7516
19	0.003254	-0.00676	-115.7	689.2596
20	0.00399	-0.00635	-122.1	1103.124
21	0.004676	-0.00586	-128.5	1103.553
22	0.005303	-0.0053	-135.0	1145.093
23	0.005864	-0.00468	-141.4	1286.871
24	0.00635	-0.00399	-147.8	1434.198
25	0.006757	-0.00325	-154.3	1574.944
26	0.007079	-0.00248	-160.7	1692.328
27	0.007312	-0.00167	-167.1	1767.893
28	0.007453	-0.00084	-173.6	1796.214
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1782.214
30	-0.00745	0.00084	6.4	2777.042
31	-0.00731	0.001669	12.9	2655.719
32	-0.00708	0.002477	19.3	2494.238
33	-0.00676	0.003254	25.7	2312.589
34	-0.00635	0.00399	32.2	2127.524
35	-0.00586	0.004676	38.6	1952.647
36	-0.0053	0.005303	45.0	1948.279
37	-0.00468	0.005864	51.5	2111.86
38	-0.00399	0.00635	57.9	2274.479
39	-0.00325	0.006757	64.3	2419.152
40	-0.00248	0.007079	70.8	2523.19
41	-0.00167	0.007312	77.2	2557.753
42	-0.00084	0.007453	83.6	2494.861
43	4.59E-19	0.0075	90.0	2304.149
44	0.00084	0.007453	96.4	1941.596
45	0.001669	0.007312	102.8	1089.608
46	0.002477	0.007079	109.2	527.2634
47	0.003254	0.006757	115.7	1111.211
48	0.00399	0.00635	122.1	1181.914
49	0.004676	0.005864	128.5	1148.222
50	0.005303	0.005303	135.0	1185.426
51	0.005864	0.004676	141.4	1325.492
52	0.00635	0.00399	147.8	1469.795
53	0.006757	0.003254	154.3	1604.606
54	0.007079	0.002477	160.7	1713.042
55	0.007312	0.001669	167.1	1777.287
56	0.007453	0.00084	173.6	1787.301
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.183

ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Re 500, Pf7, silinder 1

X	Y	θ	Nu
-0.0075	9.18E-19	0.0	2520
-0.0074528	-0.0008397	-6.4	2380
-0.007312	-0.0016689	-12.9	2260
-0.0070791	-0.0024771	-19.3	2173.4
-0.0067573	-0.0032541	-25.7	2081.03
-0.0063504	-0.0039902	-32.2	1959.52
-0.0058637	-0.0046762	-38.6	1825.94
-0.0053033	-0.0053033	-45.0	1833.06
-0.0046762	-0.0058637	-51.5	1982.18
-0.0039902	-0.0063504	-57.9	2138.25
-0.0032541	-0.0067573	-64.3	2180
-0.0024771	-0.0070791	-70.8	2170
-0.0016689	-0.007312	-77.2	2070
-0.0008397	-0.0074528	-83.6	1880
4.59E-19	-0.0075	-90.0	1770
0.0008397	-0.0074528	-96.4	1610
0.0016689	-0.007312	-102.8	1290
0.0024771	-0.0070791	-109.2	960
0.0032541	-0.0067573	-115.7	450.267
0.0039902	-0.0063504	-122.1	271.921
0.0046762	-0.0058637	-128.5	617.82
0.0053033	-0.0053033	-135.0	701.672
0.0058637	-0.0046762	-141.4	750.313
0.0063504	-0.0039902	-147.8	852.41
0.0067573	-0.0032541	-154.3	963.75
0.0070791	-0.0024771	-160.7	1067.39
0.007312	-0.0016689	-167.1	1149.01
0.0074528	-0.0008397	-173.6	1194.48
-0.0075	9.18E-19	-180.0	1212.29
-0.0074528	0.0008397	6.4	2548.14
-0.007312	0.0016689	12.9	2503.05
-0.0070791	0.0024771	19.3	2409.51
-0.0067573	0.0032541	25.7	2279.94
-0.0063504	0.0039902	32.2	2129.85
-0.0058637	0.0046762	38.6	1972.66
-0.0053033	0.0053033	45.0	1822.97
-0.0046762	0.0058637	51.5	1813.77
-0.0039902	0.0063504	57.9	1942.4
-0.0032541	0.0067573	64.3	2056.26
-0.0024771	0.0070791	70.8	2136.69
-0.0016689	0.007312	77.2	2160.45
-0.0008397	0.0074528	83.6	2102.32
4.59E-19	0.0075	90.0	1943.91
0.0008397	0.0074528	96.4	1674.81
0.0016689	0.007312	102.8	1285.99
0.0024771	0.0070791	109.2	690.394
0.0032541	0.0067573	115.7	246.495
0.0039902	0.0063504	122.1	622.483
0.0046762	0.0058637	128.5	792.594
0.0053033	0.0053033	135.0	821.449
0.0058637	0.0046762	141.4	865.976
0.0063504	0.0039902	147.8	977.039
0.0067573	0.0032541	154.3	1088.96
0.0070791	0.0024771	160.7	1180.89
0.007312	0.0016689	167.1	1243.2
0.0074528	0.0008397	173.6	1263.63
0.0075	9.18E-19	180.0	1242.18

Nu Aligned Re 750, Pf7, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2703.73
2	-0.007453	-0.00084	-6.4	2657.17
3	-0.007312	-0.001669	-12.9	2552.99
4	-0.007079	-0.002477	-19.3	2408.21
5	-0.006757	-0.003254	-25.7	2241.87
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2069.84
7	-0.005864	-0.004676	-38.6	1906.27
8	-0.005303	-0.005303	-45.0	1901.8
9	-0.004676	-0.005864	-51.5	2054.84
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2230.37
11	-0.003254	-0.006757	-64.3	2330.79
12	-0.002477	-0.007079	-70.8	2415.34
13	-0.001669	-0.007312	-77.2	2432.62
14	-0.00084	-0.007453	-83.6	2363.14
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2194.51
16	0.00084	-0.007453	-96.4	1916
17	0.001669	-0.007312	-102.8	1535.98
18	0.002477	-0.007079	-109.2	826.286
19	0.003254	-0.006757	-115.7	381.695
20	0.00399	-0.00635	-122.1	871.854
21	0.004676	-0.005864	-128.5	936.009
22	0.005303	-0.005303	-135.0	981.625
23	0.005864	-0.004676	-141.4	1093.18
24	0.00635	-0.00399	-147.8	1213.39
25	0.006757	-0.003254	-154.3	1323.67
26	0.007079	-0.002477	-160.7	1408.82
27	0.007312	-0.001669	-167.1	1455.77
28	0.007453	-0.00084	-173.6	1468.37
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	2716.42
30	-0.007453	0.00084	6.4	2660.75
31	-0.007312	0.001669	12.9	2551.47
32	-0.007079	0.002477	19.3	2403.95
33	-0.006757	0.003254	25.7	2236.07
34	-0.00635	0.00399	32.2	2063.21
35	-0.005864	0.004676	38.6	1899.21
36	-0.005303	0.005303	45.0	1893.32
37	-0.004676	0.005864	51.5	2042.89
38	-0.00399	0.00635	57.9	2186.07
39	-0.003254	0.006757	64.3	2305.1
40	-0.002477	0.007079	70.8	2376.95
41	-0.001669	0.007312	77.2	2375.26
42	-0.00084	0.007453	83.6	2277.98
43	4.59E-19	0.0075	90.0	2066.56
44	0.00084	0.007453	96.4	1735.42
45	0.001669	0.007312	102.8	1178.86
46	0.002477	0.007079	109.2	421.071
47	0.003254	0.006757	115.7	773.595
48	0.00399	0.00635	122.1	1023.48
49	0.004676	0.005864	128.5	1028.05
50	0.005303	0.005303	135.0	1055.07
51	0.005864	0.004676	141.4	1173.01
52	0.00635	0.00399	147.8	1291.61
53	0.006757	0.003254	154.3	1393.1
54	0.007079	0.002477	160.7	1464.16
55	0.007312	0.001669	167.1	1493.47
56	0.007453	0.00084	173.6	1480.35
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.18

Nu Aligned Re 750, Pf7, silinder 1

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	2802.31
2	-0.007453	-0.00084	-6.4	2748.27
3	-0.007312	-0.001669	-12.9	2633.9
4	-0.007079	-0.002477	-19.3	2478.01
5	-0.006757	-0.003254	-25.7	2300.92
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	2119.48
7	-0.005864	-0.004676	-38.6	1947.55
8	-0.005303	-0.005303	-45.0	1944.32
9	-0.004676	-0.005864	-51.5	2108.28
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	2271.96
11	-0.003254	-0.006757	-64.3	2419.24
12	-0.002477	-0.007079	-70.8	2528.57
13	-0.001669	-0.007312	-77.2	2575.17
14	-0.00084	-0.007453	-83.6	2538.24
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2404.49
16	0.00084	-0.007453	-96.4	2162.34
17	0.001669	-0.007312	-102.8	1824.74
18	0.002477	-0.007079	-109.2	1204.07
19	0.003254	-0.006757	-115.7	469.166
20	0.00399	-0.00635	-122.1	1020
21	0.004676	-0.005864	-128.5	1104.6
22	0.005303	-0.005303	-135.0	1148.65
23	0.005864	-0.004676	-141.4	1270.86
24	0.00635	-0.00399	-147.8	1401.38
25	0.006757	-0.003254	-154.3	1521.96
26	0.007079	-0.002477	-160.7	1616.82
27	0.007312	-0.001669	-167.1	1670.71
28	0.007453	-0.00084	-173.6	1684.37
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1683.56
30	-0.007453	0.00084	6.4	2751.7
31	-0.007312	0.001669	12.9	2633.13
32	-0.007079	0.002477	19.3	2474.98
33	-0.006757	0.003254	25.7	2296.61
34	-0.00635	0.00399	32.2	2114.49
35	-0.005864	0.004676	38.6	1942.21
36	-0.005303	0.005303	45.0	1937.92
37	-0.004676	0.005864	51.5	2099.25
38	-0.00399	0.00635	57.9	2258.9
39	-0.003254	0.006757	64.3	2399.92
40	-0.002477	0.007079	70.8	2499.75
41	-0.001669	0.007312	77.2	2532.15
42	-0.00084	0.007453	83.6	2474.2
43	4.59E-19	0.0075	90.0	2307.95
44	0.00084	0.007453	96.4	2019.07
45	0.001669	0.007312	102.8	1577.93
46	0.002477	0.007079	109.2	697.83
47	0.003254	0.006757	115.7	729.344
48	0.00399	0.00635	122.1	1161.18
49	0.004676	0.005864	128.5	1150.68
50	0.005303	0.005303	135.0	1172.81
51	0.005864	0.004676	141.4	1296.41
52	0.00635	0.00399	147.8	1423.65
53	0.006757	0.003254	154.3	1537.7
54	0.007079	0.002477	160.7	1624.68
55	0.007312	0.001669	167.1	1672.06
56	0.007453	0.00084	173.6	1682.68
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1242.18

Lampiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Nu Aligned Re 500, Pf3, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1220
2	-0.00745	-0.00084	-6.4	1240
3	-0.00731	-0.00167	-12.9	1200
4	-0.00708	-0.00248	-19.3	1170
5	-0.00676	-0.00325	-25.7	1130
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	1089.443
7	-0.00586	-0.00468	-38.6	1100.391
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1129.45
9	-0.00468	-0.00586	-51.5	1209.321
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	1263.741
11	-0.00325	-0.00676	-64.3	1285.494
12	-0.00248	-0.00708	-70.8	1264.277
13	-0.00167	-0.00731	-77.2	1191.421
14	-0.00084	-0.00745	-83.6	1067.022
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	897.6528
16	0.00084	-0.00745	-96.4	692.2605
17	0.00167	-0.00731	-102.8	479.1776
18	0.00248	-0.00708	-109.2	293.8595
19	0.00325	-0.00676	-115.7	169.0525
20	0.00399	-0.00635	-122.1	104.9316
21	0.00468	-0.00586	-128.5	85.43446
22	0.0053	-0.0053	-135.0	60.43952
23	0.00586	-0.00468	-141.4	98.11514
24	0.00635	-0.00399	-147.8	146.625
25	0.00676	-0.00325	-154.3	224.3013
26	0.00708	-0.00248	-160.7	346.7787
27	0.00731	-0.00167	-167.1	495.3528
28	0.00745	-0.00084	-173.6	611.3634
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	861.0171
30	-0.00745	0.00084	6.4	1190
31	-0.00731	0.00167	12.9	1150
32	-0.00708	0.00248	19.3	1090
33	-0.00676	0.00325	25.7	1080
34	-0.00635	0.00399	32.2	1089.443
35	-0.00586	0.00468	38.6	1100.391
36	-0.0053	0.0053	45.0	1129.45
37	-0.00468	0.00586	51.5	1209.321
38	-0.00399	0.00635	57.9	1263.741
39	-0.00325	0.00676	64.3	1285.494
40	-0.00248	0.00708	70.8	1264.277
41	-0.00167	0.00731	77.2	1191.421
42	-0.00084	0.00745	83.6	1067.022
43	4.59E-19	0.0075	90.0	897.6528
44	0.00084	0.00745	96.4	692.2605
45	0.00167	0.00731	102.8	479.1776
46	0.00248	0.00708	109.2	293.8595
47	0.00325	0.00676	115.7	169.0525
48	0.00399	0.00635	122.1	104.9316
49	0.00468	0.00586	128.5	85.43446
50	0.0053	0.0053	135.0	60.43952
51	0.00586	0.00468	141.4	98.11514
52	0.00635	0.00399	147.8	146.625
53	0.00676	0.00325	154.3	224.3013
54	0.00708	0.00248	160.7	346.7787
55	0.00731	0.00167	167.1	495.3528
56	0.00745	0.00084	173.6	611.3634
57	0.0075	9.18E-19	180.0	782.366

Nu Aligned Re 750, Pf3, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1530
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	1520
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	1500
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	1480
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1480
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1415.9
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1356
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1371.4
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1477.7
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1571
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	1640
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	1669.7
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	1645
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	1557.1
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1404.7
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1191.3
17	0.00167	-0.0073	-102.8	922.45
18	0.00248	-0.0071	-109.2	613.14
19	0.00325	-0.0068	-115.7	328.92
20	0.00399	-0.0064	-122.1	136.21
21	0.00468	-0.0059	-128.5	64.004
22	0.0053	-0.0053	-135.0	34.928
23	0.00586	-0.0047	-141.4	117.97
24	0.00635	-0.004	-147.8	194.12
25	0.00676	-0.0033	-154.3	299.57
26	0.00708	-0.0025	-160.7	459.16
27	0.00731	-0.0017	-167.1	646.95
28	0.00745	-0.0008	-173.6	794.32
29	-0.0075	9.18E-19		944.51
30	-0.0075	0.00084	6.4	1510
31	-0.0073	0.00167	12.9	1500
32	-0.0071	0.00248	19.3	1470
33	-0.0068	0.00325	25.7	1470
34	-0.0064	0.00399	32.2	1415.9
35	-0.0059	0.00468	38.6	1380
36	-0.0053	0.0053	45.0	1430
37	-0.0047	0.00586	51.5	1477.7
38	-0.004	0.00635	57.9	1571
39	-0.0033	0.00676	64.3	1640
40	-0.0025	0.00708	70.8	1669.7
41	-0.0017	0.00731	77.2	1645
42	-0.0008	0.00745	83.6	1557.1
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1404.7
44	0.00084	0.00745	96.4	1191.3
45	0.00167	0.00731	102.8	922.45
46	0.00248	0.00708	109.2	613.14
47	0.00325	0.00676	115.7	328.92
48	0.00399	0.00635	122.1	136.21
49	0.00468	0.00586	128.5	64.004
50	0.0053	0.0053	135.0	34.928
51	0.00586	0.00468	141.4	117.97
52	0.00635	0.00399	147.8	194.12
53	0.00676	0.00325	154.3	299.57
54	0.00708	0.00248	160.7	459.16
55	0.00731	0.00167	167.1	646.95
56	0.00745	0.00084	173.6	794.32
57	0.0075	9.18E-19	180.0	884.65

Nu Aligned Re 1000, Pf3, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1770
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	1760
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	1730
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	1686.5
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1661.54
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1588.2
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1496.45
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1508.07
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1632.77
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1750.96
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	1850.47
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	1914.82
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	1926.34
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	1872.67
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1749.12
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1557.34
17	0.00167	-0.0073	-102.8	1306.4
18	0.00248	-0.0071	-109.2	986.024
19	0.00325	-0.0068	-115.7	624.687
20	0.00399	-0.0064	-122.1	295.045
21	0.00468	-0.0059	-128.5	100.491
22	0.0053	-0.0053	-135.0	-8.07983
23	0.00586	-0.0047	-141.4	111.707
24	0.00635	-0.004	-147.8	220.389
25	0.00676	-0.0033	-154.3	346.194
26	0.00708	-0.0025	-160.7	532.798
27	0.00731	-0.0017	-167.1	753.344
28	0.00745	-0.0008	-173.6	931.584
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1198.88
30	-0.0075	0.00084	6.4	1750
31	-0.0073	0.00167	12.9	1700
32	-0.0071	0.00248	19.3	1686.5
33	-0.0068	0.00325	25.7	1661.54
34	-0.0064	0.00399	32.2	1588.2
35	-0.0059	0.00468	38.6	1496.45
36	-0.0053	0.0053	45.0	1508.07
37	-0.0047	0.00586	51.5	1632.77
38	-0.004	0.00635	57.9	1750.96
39	-0.0033	0.00676	64.3	1850.47
40	-0.0025	0.00708	70.8	1914.82
41	-0.0017	0.00731	77.2	1926.34
42	-0.0008	0.00745	83.6	1872.67
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1749.12
44	0.00084	0.00745	96.4	1557.34
45	0.00167	0.00731	102.8	1306.4
46	0.00248	0.00708	109.2	986.024
47	0.00325	0.00676	115.7	624.687
48	0.00399	0.00635	122.1	295.045
49	0.00468	0.00586	128.5	100.491
50	0.0053	0.0053	135.0	-8.07983
51	0.00586	0.00468	141.4	111.707
52	0.00635	0.00399	147.8	220.389
53	0.00676	0.00325	154.3	346.194
54	0.00708	0.00248	160.7	532.798
55	0.00731	0.00167	167.1	753.344
56	0.00745	0.00084	173.6	931.584
57	0.0075	9.18E-19	180.0	1036.21

Lampiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Nu Aligned Re 500, Pf5, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	801.3343
2	-0.00745	-0.00084	-6.4	965.5373
3	-0.00731	-0.00167	-12.9	1224.716
4	-0.00708	-0.00248	-19.3	1375.536
5	-0.00676	-0.00325	-25.7	1402.666
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	1364.269
7	-0.00586	-0.00468	-38.6	1299.271
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1309.518
9	-0.00468	-0.00586	-51.5	1406.791
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	1489.749
11	-0.00325	-0.00676	-64.3	1546.864
12	-0.00248	-0.00708	-70.8	1564.529
13	-0.00167	-0.00731	-77.2	1530.199
14	-0.00084	-0.00745	-83.6	1439.789
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1297.512
16	0.00084	-0.00745	-96.4	1112.936
17	0.00167	-0.00731	-102.8	902.1098
18	0.00248	-0.00708	-109.2	671.229
19	0.00325	-0.00676	-115.7	437.5967
20	0.00399	-0.00635	-122.1	225.0762
21	0.00468	-0.00586	-128.5	79.16119
22	0.0053	-0.0053	-135.0	5.106659
23	0.00586	-0.00468	-141.4	111.6302
24	0.00635	-0.00399	-147.8	205.665
25	0.00676	-0.00325	-154.3	311.5872
26	0.00708	-0.00248	-160.7	451.5161
27	0.00731	-0.00167	-167.1	609.787
28	0.00745	-0.00084	-173.6	719.6339
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	726.2101
30	-0.00745	0.00084	6.4	700.8397
31	-0.00731	0.00167	12.9	680.5491
32	-0.00708	0.00248	19.3	637.4362
33	-0.00676	0.00325	25.7	578.7693
34	-0.00635	0.00399	32.2	517.8909
35	-0.00586	0.00468	38.6	515.6049
36	-0.0053	0.0053	45.0	518.7029
37	-0.00468	0.00586	51.5	578.7304
38	-0.00399	0.00635	57.9	643.5773
39	-0.00325	0.00676	64.3	697.0936
40	-0.00248	0.00708	70.8	722.2916
41	-0.00167	0.00731	77.2	710.6547
42	-0.00084	0.00745	83.6	660.4166
43	4.59E-19	0.0075	90.0	576.4022
44	0.00084	0.00745	96.4	466.8424
45	0.00167	0.00731	102.8	343.8884
46	0.00248	0.00708	109.2	224.4064
47	0.00325	0.00676	115.7	130.2025
48	0.00399	0.00635	122.1	69.20827
49	0.00468	0.00586	128.5	45.97296
50	0.0053	0.0053	135.0	19.28458
51	0.00586	0.00468	141.4	59.25422
52	0.00635	0.00399	147.8	116.0645
53	0.00676	0.00325	154.3	189.6774
54	0.00708	0.00248	160.7	296.8791
55	0.00731	0.00167	167.1	433.2096
56	0.00745	0.00084	173.6	594.9866
57	0.0075	9.18E-19	180.0	596.8931

Nu Aligned Re 750, Pf5, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	-1.0	1309.5
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	1527.3
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	1708.6
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	1736
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1679.5
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1587.2
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1483.7
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1491.5
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1614.9
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1732.1
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	1830.4
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	1893.7
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	1905.1
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	1854.5
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1739.9
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1567.4
17	0.00167	-0.0073	-102.8	1351.9
18	0.00248	-0.0071	-109.2	1102.1
19	0.00325	-0.0068	-115.7	831.74
20	0.00399	-0.0064	-122.1	538.29
21	0.00468	-0.0059	-128.5	269.77
22	0.0053	-0.0053	-135.0	-5.6126
23	0.00586	-0.0047	-141.4	57.63
24	0.00635	-0.004	-147.8	259.82
25	0.00676	-0.0033	-154.3	403.62
26	0.00708	-0.0025	-160.7	571.83
27	0.00731	-0.0017	-167.1	750.86
28	0.00745	-0.0008	-173.6	871.76
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1133.9
30	-0.0075	0.00084	6.4	998.98
31	-0.0073	0.00167	12.9	895.67
32	-0.0071	0.00248	19.3	808.78
33	-0.0068	0.00325	25.7	744.25
34	-0.0064	0.00399	32.2	722.23
35	-0.0059	0.00468	38.6	786.83
36	-0.0053	0.0053	45.0	872.69
37	-0.0047	0.00586	51.5	1011.5
38	-0.004	0.00635	57.9	1129.8
39	-0.0033	0.00676	64.3	1219
40	-0.0025	0.00708	70.8	1267.2
41	-0.0017	0.00731	77.2	1266.6
42	-0.0008	0.00745	83.6	1213
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1109.3
44	0.00084	0.00745	96.4	962.9
45	0.00167	0.00731	102.8	788.58
46	0.00248	0.00708	109.2	597.25
47	0.00325	0.00676	115.7	409.04
48	0.00399	0.00635	122.1	242.44
49	0.00468	0.00586	128.5	132.72
50	0.0053	0.0053	135.0	9.2432
51	0.00586	0.00468	141.4	-28.639
52	0.00635	0.00399	147.8	77.534
53	0.00676	0.00325	154.3	187.07
54	0.00708	0.00248	160.7	311.75
55	0.00731	0.00167	167.1	468.43
56	0.00745	0.00084	173.6	656.79
57	0.0075	9.18E-19	180.0	673.24

Nu Aligned Re 1000, Pf5, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1649.55
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	1843.95
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	1957.46
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	1927.37
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1833.64
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1715.99
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1592.96
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1599.86
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1738.92
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1876.4
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	1999.08
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	2089.87
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	2130.14
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	2106.61
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2014.36
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1857.87
17	0.00167	-0.0073	-102.8	1651.47
18	0.00248	-0.0071	-109.2	1405.16
19	0.00325	-0.0068	-115.7	1136.83
20	0.00399	-0.0064	-122.1	841.155
21	0.00468	-0.0059	-128.5	569.916
22	0.0053	-0.0053	-135.0	214.855
23	0.00586	-0.0047	-141.4	-33.8065
24	0.00635	-0.004	-147.8	256.586
25	0.00676	-0.0033	-154.3	462.07
26	0.00708	-0.0025	-160.7	649.952
27	0.00731	-0.0017	-167.1	850.268
28	0.00745	-0.0008	-173.6	989.517
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1464.57
30	-0.0075	0.00084	6.4	1296.62
31	-0.0073	0.00167	12.9	1154.45
32	-0.0071	0.00248	19.3	1042.53
33	-0.0068	0.00325	25.7	990.798
34	-0.0064	0.00399	32.2	1020.05
35	-0.0059	0.00468	38.6	1104.91
36	-0.0053	0.0053	45.0	1204.4
37	-0.0047	0.00586	51.5	1356.07
38	-0.004	0.00635	57.9	1484.92
39	-0.0033	0.00676	64.3	1588.85
40	-0.0025	0.00708	70.8	1655.54
41	-0.0017	0.00731	77.2	1672.79
42	-0.0008	0.00745	83.6	1631.65
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1531.03
44	0.00084	0.00745	96.4	1376.88
45	0.00167	0.00731	102.8	1184.56
46	0.00248	0.00708	109.2	966.824
47	0.00325	0.00676	115.7	746.746
48	0.00399	0.00635	122.1	540.45
49	0.00468	0.00586	128.5	392.42
50	0.0053	0.0053	135.0	212.449
51	0.00586	0.00468	141.4	45.255
52	0.00635	0.00399	147.8	-18.6928
53	0.00676	0.00325	154.3	154.556
54	0.00708	0.00248	160.7	330.447
55	0.00731	0.00167	167.1	506.193
56	0.00745	0.00084	173.6	727.834
57	0.0075	9.18E-19	180.0	852.614

Lampiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT (NUMERIK)

Nu Aligned Re 500, P_{F7}, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1138.291
2	-0.00745	-0.00084	-6.4	1355.621
3	-0.00731	-0.00167	-12.9	1546.191
4	-0.00708	-0.00248	-19.3	1610.411
5	-0.00676	-0.00325	-25.7	1566.119
6	-0.00635	-0.00399	-32.2	1483.107
7	-0.00586	-0.00468	-38.6	1390.034
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1397.143
9	-0.00468	-0.00586	-51.5	1507.434
10	-0.00399	-0.00635	-57.9	1607.453
11	-0.00325	-0.00676	-64.3	1683.83
12	-0.00248	-0.00708	-70.8	1721.771
13	-0.00167	-0.00731	-77.2	1707.047
14	-0.00084	-0.00745	-83.6	1633.272
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1502.634
16	0.00084	-0.00745	-96.4	1324.163
17	0.00167	-0.00731	-102.8	1114.944
18	0.00248	-0.00708	-109.2	885.3513
19	0.00325	-0.00676	-115.7	653.7929
20	0.00399	-0.00635	-122.1	427.097
21	0.00468	-0.00586	-128.5	234.338
22	0.0053	-0.0053	-135.0	16.22869
23	0.00586	-0.00468	-141.4	81.85405
24	0.00635	-0.00399	-147.8	245.1384
25	0.00676	-0.00325	-154.3	367.9608
26	0.00708	-0.00248	-160.7	509.8581
27	0.00731	-0.00167	-167.1	653.0117
28	0.00745	-0.00084	-173.6	744.3901
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	946.3347
30	-0.00745	0.00084	6.4	796.1444
31	-0.00731	0.00167	12.9	687.2365
32	-0.00708	0.00248	19.3	615.3283
33	-0.00676	0.00325	25.7	605.2377
34	-0.00635	0.00399	32.2	671.4224
35	-0.00586	0.00468	38.6	805.0501
36	-0.0053	0.0053	45.0	912.0718
37	-0.00468	0.00586	51.5	1044.22
38	-0.00399	0.00635	57.9	1141.741
39	-0.00325	0.00676	64.3	1203.487
40	-0.00248	0.00708	70.8	1222.66
41	-0.00167	0.00731	77.2	1194.333
42	-0.00084	0.00745	83.6	1118.576
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1001.772
44	0.00084	0.00745	96.4	853.8558
45	0.00167	0.00731	102.8	690.0914
46	0.00248	0.00708	109.2	520.0855
47	0.00325	0.00676	115.7	359.8732
48	0.00399	0.00635	122.1	216.766
49	0.00468	0.00586	128.5	111.1156
50	0.0053	0.0053	135.0	1.863194
51	0.00586	0.00468	141.4	35.91539
52	0.00635	0.00399	147.8	135.8145
53	0.00676	0.00325	154.3	227.4052
54	0.00708	0.00248	160.7	335.02
55	0.00731	0.00167	167.1	463.3558
56	0.00745	0.00084	173.6	615.9491
57	0.0075	9.18E-19	180.0	617.3651

Nu Aligned Re 750, P_{F7}, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1628.2
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	1807.1
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	1904
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	1880.4
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1784.4
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1667.1
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1547.7
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1554.5
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1688
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1817.7
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	1930.1
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	2008.3
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	2034.9
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	1998.3
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	1895.4
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1731.9
17	0.00167	-0.0073	-102.8	1523.2
18	0.00248	-0.0071	-109.2	1280
19	0.00325	-0.0068	-115.7	1021.3
20	0.00399	-0.0064	-122.1	750.87
21	0.00468	-0.0059	-128.5	527.29
22	0.0053	-0.0053	-135.0	249.03
23	0.00586	-0.0047	-141.4	7.5614
24	0.00635	-0.004	-147.8	262.19
25	0.00676	-0.0033	-154.3	470.05
26	0.00708	-0.0025	-160.7	625.8
27	0.00731	-0.0017	-167.1	776.45
28	0.00745	-0.0008	-173.6	867.63
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1419.9
30	-0.0075	0.00084	6.4	1216.4
31	-0.0073	0.00167	12.9	1047.2
32	-0.0071	0.00248	19.3	940.25
33	-0.0068	0.00325	25.7	945.25
34	-0.0064	0.00399	32.2	1037.4
35	-0.0059	0.00468	38.6	1143.8
36	-0.0053	0.0053	45.0	1236.1
37	-0.0047	0.00586	51.5	1376.4
38	-0.004	0.00635	57.9	1493.1
39	-0.0033	0.00676	64.3	1583.7
40	-0.0025	0.00708	70.8	1636.3
41	-0.0017	0.00731	77.2	1638.8
42	-0.0008	0.00745	83.6	1584.2
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1472.9
44	0.00084	0.00745	96.4	1312.3
45	0.00167	0.00731	102.8	1118.4
46	0.00248	0.00708	109.2	902.47
47	0.00325	0.00676	115.7	685.85
48	0.00399	0.00635	122.1	476.2
49	0.00468	0.00586	128.5	296.28
50	0.0053	0.0053	135.0	102.27
51	0.00586	0.00468	141.4	-13.72
52	0.00635	0.00399	147.8	40.95
53	0.00676	0.00325	154.3	222.47
54	0.00708	0.00248	160.7	360.08
55	0.00731	0.00167	167.1	497.16
56	0.00745	0.00084	173.6	661.65
57	0.0075	9.18E-19	180.0	659.13

Nu Aligned Re 1000, P_{F7}, silinder 2

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0075	9.18E-19	0.0	1908.38
2	-0.0075	-0.0008	-6.4	2050.79
3	-0.0073	-0.0017	-12.9	2098.3
4	-0.0071	-0.0025	-19.3	2034.88
5	-0.0068	-0.0033	-25.7	1913.79
6	-0.0064	-0.004	-32.2	1777.78
7	-0.0059	-0.0047	-38.6	1643.71
8	-0.0053	-0.0053	-45.0	1650.19
9	-0.0047	-0.0059	-51.5	1797.26
10	-0.004	-0.0064	-57.9	1944.35
11	-0.0033	-0.0068	-64.3	2077.89
12	-0.0025	-0.0071	-70.8	2180.07
13	-0.0017	-0.0073	-77.2	2231.77
14	-0.0008	-0.0075	-83.6	2218.76
15	4.59E-19	-0.0075	-90.0	2135.25
16	0.00084	-0.0075	-96.4	1985.35
17	0.00167	-0.0073	-102.8	1783.31
18	0.00248	-0.0071	-109.2	1540.34
19	0.00325	-0.0068	-115.7	1272.82
20	0.00399	-0.0064	-122.1	983.071
21	0.00468	-0.0059	-128.5	717.097
22	0.0053	-0.0053	-135.0	370.653
23	0.00586	-0.0047	-141.4	73.3917
24	0.00635	-0.004	-147.8	169.346
25	0.00676	-0.0033	-154.3	525.366
26	0.00708	-0.0025	-160.7	701.271
27	0.00731	-0.0017	-167.1	867.261
28	0.00745	-0.0008	-173.6	960.243
29	-0.0075	9.18E-19	-180.0	1711.7
30	-0.0075	0.00084	6.4	1496.21
31	-0.0073	0.00167	12.9	1305.26
32	-0.0071	0.00248	19.3	1207.46
33	-0.0068	0.00325	25.7	1245.54
34	-0.0064	0.00399	32.2	1330.98
35	-0.0059	0.00468	38.6	1371.29
36	-0.0053	0.0053	45.0	1432.9
37	-0.0047	0.00586	51.5	1577.09
38	-0.004	0.00635	57.9	1708.77
39	-0.0033	0.00676	64.3	1820.87
40	-0.0025	0.00708	70.8	1898.52
41	-0.0017	0.00731	77.2	1926.06
42	-0.0008	0.00745	83.6	1892.05
43	4.59E-19	0.0075	90.0	1793.21
44	0.00084	0.00745	96.4	1634.34
45	0.00167	0.00731	102.8	1430.17
46	0.00248	0.00708	109.2	1189.04
47	0.00325	0.00676	115.7	934.33
48	0.00399	0.00635	122.1	649.067
49	0.00468	0.00586	128.5	331.847
50	0.0053	0.0053	135.0	46.0077
51	0.00586	0.00468	141.4	-68.996
52	0.00635	0.00399	147.8	-15.4678
53	0.00676	0.00325	154.3	208.073
54	0.00708	0.00248	160.7	390.583
55	0.00731	0.00167	167.1	537.636
56	0.00745	0.00084	173.6	718.554
57	0.0075	9.18E-19	180.0	719.482

mpiran B - 1 (Susunan Aligned)

city magnitude Re 500 Pf 3 silinder 1

Velocity magnitude Re 750 Pf 3 silinder 1

Velocity magnitude Re 1000 Pf 3 silinder 1

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.0567
2	-0.00755	-0.000854	-6.5	0.059155
3	-0.00741	-0.0017014	-12.9	0.077468
4	-0.00717	-0.0025163	-19.3	0.099468
5	-0.00684	-0.0033087	-25.8	0.118244
6	-0.00643	-0.0040476	-32.2	0.130534
7	-0.00594	-0.004743	-38.6	0.136988
8	-0.00537	-0.005374	-45.0	0.138954
9	-0.00474	-0.0059383	-51.4	0.165108
10	-0.00405	-0.0064325	-57.8	0.19134
11	-0.00331	-0.0068419	-64.2	0.214582
12	-0.00252	-0.0071713	-70.7	0.230633
13	-0.0017	-0.0074071	-77.1	0.234178
14	-0.00085	-0.0075519	-83.6	0.220253
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.187278
16	0.000854	-0.0075519	-96.4	0.138464
17	0.001701	-0.0074071	-102.9	0.085838
18	0.002516	-0.0071713	-109.3	0.051482
19	0.003309	-0.0068419	-115.8	0.032436
20	0.004048	-0.0064325	-122.2	0.025148
21	0.004743	-0.0059383	-128.6	0.02721
22	0.005374	-0.005374	-135.0	0.030002
23	0.005938	-0.004743	-141.4	0.041113
24	0.006432	-0.0040476	-147.8	0.05186
25	0.006842	-0.0033087	-154.2	0.059427
26	0.007171	-0.0025163	-160.7	0.061469
27	0.007407	-0.0017014	-167.1	0.056469
28	0.007552	-0.000854	-173.5	0.045393
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.045393
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.072155
31	-0.00741	0.0017014	12.9	0.095867
32	-0.00717	0.0025163	19.3	0.118427
33	-0.00684	0.0033087	25.8	0.135382
34	-0.00643	0.0040476	32.2	0.145034
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.148618
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.147722
37	-0.00474	0.0059383	51.4	0.172296
38	-0.00405	0.0064325	57.8	0.196026
39	-0.00331	0.0068419	64.2	0.215321
40	-0.00252	0.0071713	70.7	0.225472
41	-0.0017	0.0074071	77.1	0.221216
42	-0.00085	0.0075519	83.6	0.197903
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.158075
44	0.000854	0.0075519	96.4	0.102349
45	0.001701	0.0074071	102.9	0.060637
46	0.002516	0.0071713	109.3	0.037896
47	0.003309	0.0068419	115.8	0.029571
48	0.004048	0.0064325	122.2	0.030398
49	0.004743	0.0059383	128.6	0.030747
50	0.005374	0.005374	135.0	0.033439
51	0.005938	0.004743	141.4	0.042642
52	0.006432	0.0040476	147.8	0.04998
53	0.006842	0.0033087	154.2	0.052971
54	0.007171	0.0025163	160.7	0.049811
55	0.007407	0.0017014	167.1	0.04117
56	0.007552	0.000854	173.5	0.032961

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.08387
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.08814
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.11707
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.15131
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.18036
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.19941
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.20963
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.21309
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.25395
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.29585
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.33457
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.3644
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.37752
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.36575
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.32412
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.25409
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.16549
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.09761
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.06027
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.04638
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.0491
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.05343
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.07009
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.08527
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.09514
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.09655
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.08779
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.07139
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.07139
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.10761
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.14421
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.17918
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.20558
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.22081
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.22687
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.22625
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.26515
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.26515
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.33797
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.36062
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.36381
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.33922
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.28365
44	0.000854	0.007552	96.4	0.20118
45	0.001701	0.007407	102.9	0.12055
46	0.002516	0.007171	109.3	0.07161
47	0.003309	0.006842	115.8	0.05372
48	0.004048	0.006432	122.2	0.05206
49	0.004743	0.005938	128.6	0.05384
50	0.005374	0.005374	135.0	0.05708
51	0.005938	0.004743	141.4	0.07096
52	0.006432	0.004048	147.8	0.08218
53	0.006842	0.003309	154.2	0.08692
54	0.007171	0.002516	160.7	0.08248
55	0.007407	0.001701	167.1	0.06991
56	0.007552	0.000854	173.5	0.05721

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.1104
2	-0.00755	-0.000854	-6.5	0.11656
3	-0.00741	-0.001701	-12.9	0.1565
4	-0.00717	-0.002516	-19.3	0.20339
5	-0.00684	-0.003309	-25.8	0.24308
6	-0.00643	-0.004048	-32.2	0.26915
7	-0.00594	-0.004743	-38.6	0.28337
8	-0.00537	-0.005374	-45.0	0.2885
9	-0.00474	-0.005938	-51.4	0.34445
10	-0.00405	-0.006432	-57.8	0.40242
11	-0.00331	-0.006842	-64.2	0.4572
12	-0.00252	-0.007171	-70.7	0.50164
13	-0.0017	-0.007407	-77.1	0.52583
14	-0.00085	-0.007552	-83.6	0.51936
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.47447
16	0.000854	-0.007552	-96.4	0.3896
17	0.001701	-0.007407	-102.9	0.2734
18	0.002516	-0.007171	-109.3	0.1641
19	0.003309	-0.006842	-115.8	0.10084
20	0.004048	-0.006432	-122.2	0.07456
21	0.004743	-0.005938	-128.6	0.06859
22	0.005374	-0.005374	-135.0	0.07623
23	0.005938	-0.004743	-141.4	0.09849
24	0.006432	-0.004048	-147.8	0.11859
25	0.006842	-0.003309	-154.2	0.13131
26	0.007171	-0.002516	-160.7	0.13248
27	0.007407	-0.001701	-167.1	0.12013
28	0.007552	-0.000854	-173.5	0.09874
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.09874
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.14266
31	-0.00741	0.0017014	12.9	0.19252
32	-0.00717	0.0025163	19.3	0.24034
33	-0.00684	0.0033087	25.8	0.27655
34	-0.00643	0.0040476	32.2	0.29766
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.30651
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.30641
37	-0.00474	0.0059383	51.4	0.36014
38	-0.00405	0.0064325	57.8	0.41467
39	-0.00331	0.0068419	64.2	0.46408
40	-0.00252	0.0071713	70.7	0.50054
41	-0.0017	0.0074071	77.1	0.51387
42	4.90E-19	0.0076	90.0	0.43119
43	0.000854	0.0075519	96.4	0.33018
44	0.001701	0.0074071	102.9	0.20713
45	0.002516	0.0071713	109.3	0.12284
46	0.003309	0.0068419	115.8	0.08237
47	0.004048	0.0064325	122.2	0.06938
48	0.004743	0.0059383	128.6	0.07643
49	0.005374	0.005374	135.0	0.08031
50	0.005938	0.004743	141.4	0.0996
51	0.006432	0.0040476	147.8	0.11569
52	0.006842	0.0033087	154.2	0.12315
53	0.007171	0.0025163	160.7	0.11802
54	0.007407	0.0017014	167.1	0.10135
55	0.007552	0.000854	173.5	0.08308

mpiran B - 1 (Susunan Aligned)

ocity magnitude Re 500 Pf 5 silinder 1

Velocity magnitude Re 750 Pf 5 silinder 1

Velocity magnitude Re 1000 Pf 5 silinder 1

X	Y	θ	V
-0.0076	9.21E-19	0.0	0.025749
-0.00755	-0.000854	-6.5	0.026576
-0.00741	-0.0017014	-12.9	0.034523
-0.00717	-0.0025163	-19.3	0.044282
-0.00684	-0.0033087	-25.8	0.052719
-0.00643	-0.0040476	-32.2	0.058256
-0.00594	-0.004743	-38.6	0.061105
-0.00537	-0.005374	-45.0	0.061732
-0.00474	-0.0059383	-51.4	0.072643
-0.00405	-0.0064325	-57.8	0.082894
-0.00331	-0.0068419	-64.2	0.090935
-0.00252	-0.0071713	-70.7	0.094907
-0.0017	-0.0074071	-77.1	0.093057
-0.00085	-0.0075519	-83.6	0.084182
4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.068963
0.000854	-0.0075519	-96.4	0.04971
0.001701	-0.0074071	-102.9	0.030786
0.002516	-0.0071713	-109.3	0.018272
0.003309	-0.0068419	-115.8	0.01113
0.004048	-0.0064325	-122.2	0.008033
0.004743	-0.0059383	-128.6	0.007771
0.005374	-0.005374	-135.0	0.008312
0.005938	-0.004743	-141.4	0.01221
0.006432	-0.0040476	-147.8	0.017004
0.006842	-0.0033087	-154.2	0.021264
0.007171	-0.0025163	-160.7	0.023555
0.007407	-0.0017014	-167.1	0.022616
0.007552	-0.000854	-173.5	0.018271
0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.012638
-0.00755	0.000854	6.5	0.032879
-0.00741	0.0017014	12.9	0.04357
-0.00717	0.0025163	19.3	0.053618
-0.00684	0.0033087	25.8	0.06114
-0.00643	0.0040476	32.2	0.065341
-0.00594	0.004743	38.6	0.066736
-0.00537	0.005374	45.0	0.065857
-0.00474	0.0059383	51.4	0.075733
-0.00405	0.0064325	57.8	0.084374
-0.00331	0.0068419	64.2	0.090087
-0.00252	0.0071713	70.7	0.090961
-0.0017	0.0074071	77.1	0.085532
-0.00085	0.0075519	83.6	0.073025
4.90E-19	0.0076	90.0	0.055078
0.000854	0.0075519	96.4	0.035364
0.001701	0.0074071	102.9	0.020718
0.002516	0.0071713	109.3	0.01252
0.003309	0.0068419	115.8	0.009355
0.004048	0.0064325	122.2	0.009138
0.004743	0.0059383	128.6	0.008895
0.005374	0.005374	135.0	0.010061
0.005938	0.004743	141.4	0.014092
0.006432	0.0040476	147.8	0.017754
0.006842	0.0033087	154.2	0.019723
0.007171	0.0025163	160.7	0.018894
0.007407	0.0017014	167.1	0.01523
0.007552	0.000854	173.5	0.011333

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.04052
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.04205
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.05465
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.06997
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.08313
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.09175
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.09623
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.09745
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.1154
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.13298
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.14782
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.15688
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.15669
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.14441
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.12001
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.08668
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.05332
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.03223
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.02013
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.01527
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.01585
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.01734
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.02477
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.03266
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.03881
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.04127
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.03858
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.03095
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.02241
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.05144
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.06807
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.08383
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.09565
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.10233
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.10469
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.10377
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.1204
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.13586
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.14749
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.15194
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.146
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.12728
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.09742
44	0.000854	0.007552	96.4	0.06264
45	0.001701	0.007407	102.9	0.03726
46	0.002516	0.007171	109.3	0.02336
47	0.003309	0.006842	115.8	0.01803
48	0.004048	0.006432	122.2	0.01816
49	0.004743	0.005938	128.6	0.0181
50	0.005374	0.005374	135.0	0.02023
51	0.005938	0.004743	141.4	0.02685
52	0.006432	0.004048	147.8	0.03232
53	0.006842	0.003309	154.2	0.03476
54	0.007171	0.002516	160.7	0.03274
55	0.007407	0.001701	167.1	0.0266
56	0.007552	0.000854	173.5	0.02064

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.01901
2	-0.00755	-0.000854	-6.5	0.01891
3	-0.00741	-0.001701	-12.9	0.02897
4	-0.00717	-0.002516	-19.3	0.04094
5	-0.00684	-0.003309	-25.8	0.0514
6	-0.00643	-0.004048	-32.2	0.05881
7	-0.00594	-0.004743	-38.6	0.06355
8	-0.00537	-0.005374	-45.0	0.06635
9	-0.00474	-0.005938	-51.4	0.08138
10	-0.00405	-0.006432	-57.8	0.09762
11	-0.00331	-0.006842	-64.2	0.11392
12	-0.00252	-0.007171	-70.7	0.12867
13	-0.0017	-0.007407	-77.1	0.13928
14	-0.00085	-0.007552	-83.6	0.14335
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.13918
16	0.000854	-0.007552	-96.4	0.12657
17	0.001701	-0.007407	-102.9	0.1074
18	0.002516	-0.007171	-109.3	0.08517
19	0.003309	-0.006842	-115.8	0.06313
20	0.004048	-0.006432	-122.2	0.04453
21	0.004743	-0.005938	-128.6	0.03169
22	0.005374	-0.005374	-135.0	0.02408
23	0.005938	-0.004743	-141.4	0.02314
24	0.006432	-0.004048	-147.8	0.02312
25	0.006842	-0.003309	-154.2	0.02673
26	0.007171	-0.002516	-160.7	0.03359
27	0.007407	-0.001701	-167.1	0.03707
28	0.007552	-0.000854	-173.5	0.03662
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.03434
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.03018
31	-0.00741	0.0017014	12.9	0.04433
32	-0.00717	0.0025163	19.3	0.05638
33	-0.00684	0.0033087	25.8	0.06506
34	-0.00643	0.0040476	32.2	0.07007
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.07238
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.07242
37	-0.00474	0.0059383	51.4	0.08498
38	-0.00405	0.0064325	57.8	0.09795
39	-0.00331	0.0068419	64.2	0.10997
40	-0.00252	0.0071713	70.7	0.11953
41	-0.0017	0.0074071	77.1	0.12469
42	-0.00085	0.0075519	83.6	0.12379
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.11624
44	0.000854	0.0075519	96.4	0.10286
45	0.001701	0.0074071	102.9	0.08589
46	0.002516	0.0071713	109.3	0.06823
47	0.003309	0.0068419	115.8	0.05195
48	0.004048	0.0064325	122.2	0.03881
49	0.004743	0.0059383	128.6	0.02984
50	0.005374	0.005374	135.0	0.02316
51	0.005938	0.004743	141.4	0.02136
52	0.006432	0.0040476	147.8	0.02088
53	0.006842	0.0033087	154.2	0.0224
54	0.007171	0.0025163	160.7	0.02736
55	0.007407	0.0017014	167.1	0.03218
56	0.007552	0.000854	173.5	0.03324

Empiran B - 1 (Susunan Aligned)

Velocity magnitude Re 500 Pf 7 silinder 1

Velocity magnitude Re 750 Pf 7 silinder 1

Velocity magnitude Re 1000 Pf 7 silinder 1

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.019231
2	-0.00755	-0.000854	-6.5	0.019809
3	-0.00741	-0.0017014	-12.9	0.025899
4	-0.00717	-0.0025163	-19.3	0.033381
5	-0.00684	-0.0033087	-25.8	0.039867
6	-0.00643	-0.0040476	-32.2	0.044124
7	-0.00594	-0.004743	-38.6	0.046307
8	-0.00537	-0.005374	-45.0	0.046705
9	-0.00474	-0.0059383	-51.4	0.054697
10	-0.00405	-0.0064325	-57.8	0.061974
11	-0.00331	-0.0068419	-64.2	0.067389
12	-0.00252	-0.0071713	-70.7	0.069626
13	-0.0017	-0.0074071	-77.1	0.06759
14	-0.00085	-0.0075519	-83.6	0.060629
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.049476
16	0.000854	-0.0075519	-96.4	0.03583
17	0.001701	-0.0074071	-102.9	0.022414
18	0.002516	-0.0071713	-109.3	0.013051
19	0.003309	-0.0068419	-115.8	0.007729
20	0.004048	-0.0064325	-122.2	0.005404
21	0.004743	-0.0059383	-128.6	0.00503
22	0.005374	-0.005374	-135.0	0.005404
23	0.005938	-0.004743	-141.4	0.007952
24	0.006432	-0.0040476	-147.8	0.01131
25	0.006842	-0.0033087	-154.2	0.014489
26	0.007171	-0.0025163	-160.7	0.016396
27	0.007407	-0.0017014	-167.1	0.015957
28	0.007552	-0.000854	-173.5	0.012924
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.008755
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.024805
31	-0.00741	0.0017014	12.9	0.033045
32	-0.00717	0.0025163	19.3	0.040735
33	-0.00684	0.0033087	25.8	0.046481
34	-0.00643	0.0040476	32.2	0.049663
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.050679
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.049854
37	-0.00474	0.0059383	51.4	0.056953
38	-0.00405	0.0064325	57.8	0.062894
39	-0.00331	0.0068419	64.2	0.066459
40	-0.00252	0.0071713	70.7	0.066344
41	-0.0017	0.0074071	77.1	0.061709
42	-0.00085	0.0075519	83.6	0.052244
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.039331
44	0.000854	0.0075519	96.4	0.025436
45	0.001701	0.0074071	102.9	0.014683
46	0.002516	0.0071713	109.3	0.008558
47	0.003309	0.0068419	115.8	0.006218
48	0.004048	0.0064325	122.2	0.005981
49	0.004743	0.0059383	128.6	0.005827
50	0.005374	0.005374	135.0	0.006558
51	0.005938	0.004743	141.4	0.009414
52	0.006432	0.0040476	147.8	0.012172
53	0.006842	0.0033087	154.2	0.013813
54	0.007171	0.0025163	160.7	0.013425
55	0.007407	0.0017014	167.1	0.010835
56	0.007552	0.000854	173.5	0.007848

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.03215
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.03326
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.04316
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.05527
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.0657
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.07254
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.07608
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.07695
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.09085
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.1042
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.11507
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.12107
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.11972
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.10917
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.0899
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.06468
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.03986
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.02397
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.01475
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.01089
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.01097
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.01185
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.01727
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.02346
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.02863
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.03108
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.02944
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.02368
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.01671
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.04089
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.0541
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.06656
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.0759
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.08114
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.08294
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.08204
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.09478
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.10628
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.11441
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.11663
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.11075
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.09539
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.07228
44	0.000854	0.007552	96.4	0.04634
45	0.001701	0.007407	102.9	0.02743
46	0.002516	0.007171	109.3	0.01693
47	0.003309	0.006842	115.8	0.01285
48	0.004048	0.006432	122.2	0.01275
49	0.004743	0.005938	128.6	0.01253
50	0.005374	0.005374	135.0	0.01415
51	0.005938	0.004743	141.4	0.01935
52	0.006432	0.004048	147.8	0.02384
53	0.006842	0.003309	154.2	0.02605
54	0.007171	0.002516	160.7	0.02473
55	0.007407	0.001701	167.1	0.01998
56	0.007552	0.000854	173.5	0.01516

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.04463
2	-0.00755	-0.000854	-6.5	0.04638
3	-0.00741	-0.001701	-12.9	0.06038
4	-0.00717	-0.002516	-19.3	0.07734
5	-0.00684	-0.003309	-25.8	0.09188
6	-0.00643	-0.004048	-32.2	0.1014
7	-0.00594	-0.004743	-38.6	0.10636
8	-0.00537	-0.005374	-45.0	0.10776
9	-0.00474	-0.005938	-51.4	0.12777
10	-0.00405	-0.006432	-57.8	0.14748
11	-0.00331	-0.006842	-64.2	0.16438
12	-0.00252	-0.007171	-70.7	0.17509
13	-0.0017	-0.007407	-77.1	0.17568
14	-0.00085	-0.007552	-83.6	0.16276
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.13598
16	0.000854	-0.007552	-96.4	0.09863
17	0.001701	-0.007407	-102.9	0.0607
18	0.002516	-0.007171	-109.3	0.03666
19	0.003309	-0.006842	-115.8	0.02302
20	0.004048	-0.006432	-122.2	0.01763
21	0.004743	-0.005938	-128.6	0.01852
22	0.005374	-0.005374	-135.0	0.02034
23	0.005938	-0.004743	-141.4	0.02875
24	0.006432	-0.004048	-147.8	0.03742
25	0.006842	-0.003309	-154.2	0.04397
26	0.007171	-0.002516	-160.7	0.04635
27	0.007407	-0.001701	-167.1	0.04309
28	0.007552	-0.000854	-173.5	0.03457
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.02536
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.05666
31	-0.00741	0.0017014	12.9	0.07504
32	-0.00717	0.0025163	19.3	0.09247
33	-0.00684	0.0033087	25.8	0.10556
34	-0.00643	0.0040476	32.2	0.11296
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.11561
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.11469
37	-0.00474	0.0059383	51.4	0.13329
38	-0.00405	0.0064325	57.8	0.15079
39	-0.00331	0.0068419	64.2	0.16427
40	-0.00252	0.0071713	70.7	0.17
41	-0.0017	0.0074071	77.1	0.16425
42	-0.00085	0.0075519	83.6	0.1441
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.11101
44	0.000854	0.0075519	96.4	0.07161
45	0.001701	0.0074071	102.9	0.04258
46	0.002516	0.0071713	109.3	0.02677
47	0.003309	0.0068419	115.8	0.02078
48	0.004048	0.0064325	122.2	0.02108
49	0.004743	0.0059383	128.6	0.02113
50	0.005374	0.005374	135.0	0.02345
51	0.005938	0.004743	141.4	0.03074
52	0.006432	0.0040476	147.8	0.03667
53	0.006842	0.0033087	154.2	0.03922
54	0.007171	0.0025163	160.7	0.03688
55	0.007407	0.0017014	167.1	0.03007
56	0.007552	0.000854	173.5	0.02356

mpiran B - 1 (Susunan Aligned)

Velocity magnitude Re 500 Pf 3 silinder 2

Velocity magnitude Re 750 Pf 3 silinder 2

Velocity magnitude Re 1000 Pf 3 silinder 2

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.01901
2	-0.00755	-0.0009	-6.5	0.01891
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.02897
4	-0.00717	-0.0025	-19.3	0.04094
5	-0.00684	-0.0033	-25.8	0.0514
6	-0.00643	-0.004	-32.2	0.05881
7	-0.00594	-0.0047	-38.6	0.06355
8	-0.00537	-0.0054	-45.0	0.06635
9	-0.00474	-0.0059	-51.4	0.08138
10	-0.00405	-0.0064	-57.8	0.09762
11	-0.00331	-0.0068	-64.2	0.11392
12	-0.00252	-0.0072	-70.7	0.12867
13	-0.0017	-0.0074	-77.1	0.13928
14	-0.00085	-0.0076	-83.6	0.14335
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.13918
16	0.00085	-0.0076	-96.4	0.12657
17	0.0017	-0.0074	-102.9	0.1074
18	0.00252	-0.0072	-109.3	0.08517
19	0.00331	-0.0068	-115.8	0.06313
20	0.00405	-0.0064	-122.2	0.04453
21	0.00474	-0.0059	-128.6	0.03169
22	0.00537	-0.0054	-135.0	0.02408
23	0.00594	-0.0047	-141.4	0.02314
24	0.00643	-0.004	-147.8	0.02312
25	0.00684	-0.0033	-154.2	0.02673
26	0.00717	-0.0025	-160.7	0.03359
27	0.00741	-0.0017	-167.1	0.03707
28	0.00755	-0.0009	-173.5	0.03662
29	0.0076	#####	-180.0	0.03434
30	-0.00755	0.00085	6.5	0.03018
31	-0.00741	0.0017	12.9	0.04433
32	-0.00717	0.00252	19.3	0.05638
33	-0.00684	0.00331	25.8	0.06506
34	-0.00643	0.00405	32.2	0.07007
35	-0.00594	0.00474	38.6	0.07238
36	-0.00537	0.00537	45.0	0.07242
37	-0.00474	0.00594	51.4	0.08498
38	-0.00405	0.00643	57.8	0.09795
39	-0.00331	0.00684	64.2	0.10997
40	-0.00252	0.00717	70.7	0.11953
41	-0.0017	0.00741	77.1	0.12469
42	-0.00085	0.00755	83.6	0.12379
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.11624
44	0.00085	0.00755	96.4	0.10286
45	0.0017	0.00741	102.9	0.08589
46	0.00252	0.00717	109.3	0.06823
47	0.00331	0.00684	115.8	0.05195
48	0.00405	0.00643	122.2	0.03881
49	0.00474	0.00594	128.6	0.02984
50	0.00537	0.00537	135.0	0.02316
51	0.00594	0.00474	141.4	0.02136
52	0.00643	0.00405	147.8	0.02088
53	0.00684	0.00331	154.2	0.0224
54	0.00717	0.00252	160.7	0.02736
55	0.00741	0.0017	167.1	0.03218
56	0.00755	0.00085	173.5	0.03324

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.02888
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.02925
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.04762
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.0682
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.08519
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.09675
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.1039
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.10812
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.13268
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.15959
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.18699
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.21245
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.23196
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.24165
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.2385
16	0.00085	-0.00755	-96.4	0.22162
17	0.0017	-0.00741	-102.9	0.19281
18	0.00252	-0.00717	-109.3	0.15679
19	0.00331	-0.00684	-115.8	0.11866
20	0.00405	-0.00643	-122.2	0.08456
21	0.00474	-0.00594	-128.6	0.05952
22	0.00537	-0.00537	-135.0	0.04354
23	0.00594	-0.00474	-141.4	0.04104
24	0.00643	-0.00405	-147.8	0.0414
25	0.00684	-0.00331	-154.2	0.04364
26	0.00717	-0.00252	-160.7	0.05116
27	0.00741	-0.0017	-167.1	0.05842
28	0.00755	-0.00085	-173.5	0.06091
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.05815
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.04708
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.06902
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.08766
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.10116
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.10908
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.11289
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.11362
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.13492
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.15756
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.17938
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.198
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.21003
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.21236
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.20338
44	0.00085	0.007552	96.4	0.18364
45	0.0017	0.007407	102.9	0.15619
46	0.00252	0.007171	109.3	0.12609
47	0.00331	0.006842	115.8	0.0976
48	0.00405	0.006432	122.2	0.07441
49	0.00474	0.005938	128.6	0.05841
50	0.00537	0.005374	135.0	0.04624
51	0.00594	0.004743	141.4	0.04184
52	0.00643	0.004048	147.8	0.03959
53	0.00684	0.003309	154.2	0.03976
54	0.00717	0.002516	160.7	0.0423
55	0.00741	0.001701	167.1	0.0484
56	0.00755	0.000854	173.5	0.05344

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.038732
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.041964
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.069386
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.097621
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.120413
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.135796
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.145284
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.150959
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.185311
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.223195
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.262019
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.298508
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.327127
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.342749
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.341091
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.320915
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.284428
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.236931
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.184594
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.135282
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.096103
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.06842
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.061757
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.061741
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.062677
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.069559
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.079453
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.084432
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.081329
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.06218
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.091248
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.116453
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.134976
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.146269
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.152248
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.154515
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.185337
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.218404
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.250828
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.279495
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.299755
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.307216
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.298819
44	0.000854	0.007552	96.4	0.274547
45	0.001701	0.007407	102.9	0.238058
46	0.002516	0.007171	109.3	0.195816
47	0.003309	0.006842	115.8	0.153832
48	0.004048	0.006432	122.2	0.118328
49	0.004743	0.005938	128.6	0.09291
50	0.005374	0.005374	135.0	0.073665
51	0.005938	0.004743	141.4	0.067511
52	0.006432	0.004048	147.8	0.061533
53	0.006842	0.003309	154.2	0.060409
54	0.007171	0.002516	160.7	0.062313
55	0.007407	0.001701	167.1	0.066769
56	0.007552	0.000854	173.5	0.07368

Empiran B - 1 (Susunan Aligned)

Velocity magnitude Re 500 Pf 5 silinder 2

Velocity magnitude Re 750 Pf 5 silinder 2

Velocity magnitude Re 1000 Pf 5 silinder 2

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.00821
2	-0.00755	-0.0009	-6.5	0.01037
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.01412
4	-0.00717	-0.0025	-19.3	0.01741
5	-0.00684	-0.0033	-25.8	0.02017
6	-0.00643	-0.004	-32.2	0.02227
7	-0.00594	-0.0047	-38.6	0.0238
8	-0.00537	-0.0054	-45.0	0.02472
9	-0.00474	-0.0059	-51.4	0.03
10	-0.00405	-0.0064	-57.8	0.03549
11	-0.00331	-0.0068	-64.2	0.04069
12	-0.00252	-0.0072	-70.7	0.04493
13	-0.0017	-0.0074	-77.1	0.04727
14	-0.00085	-0.0076	-83.6	0.04703
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.04405
16	0.00085	-0.0076	-96.4	0.03874
17	0.0017	-0.0074	-102.9	0.03194
18	0.00252	-0.0072	-109.3	0.02482
19	0.00331	-0.0068	-115.8	0.01822
20	0.00405	-0.0064	-122.2	0.01286
21	0.00474	-0.0059	-128.6	0.00922
22	0.00537	-0.0054	-135.0	0.00699
23	0.00594	-0.0047	-141.4	0.0065
24	0.00643	-0.004	-147.8	0.0074
25	0.00684	-0.0033	-154.2	0.00992
26	0.00717	-0.0025	-160.7	0.01235
27	0.00741	-0.0017	-167.1	0.01281
28	0.00755	-0.0009	-173.5	0.01095
29	0.0076	#####	-180.0	0.00943
30	-0.00755	0.00085	6.5	0.01052
31	-0.00741	0.0017	12.9	0.01605
32	-0.00717	0.00252	19.3	0.02132
33	-0.00684	0.00331	25.8	0.02526
34	-0.00643	0.00405	32.2	0.02758
35	-0.00594	0.00474	38.6	0.02872
36	-0.00537	0.00537	45.0	0.02871
37	-0.00474	0.00594	51.4	0.03323
38	-0.00405	0.00643	57.8	0.03755
39	-0.00331	0.00684	64.2	0.04118
40	-0.00252	0.00717	70.7	0.04357
41	-0.0017	0.00741	77.1	0.04415
42	-0.00085	0.00755	83.6	0.04248
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.03863
44	0.00085	0.00755	96.4	0.03307
45	0.0017	0.00741	102.9	0.02663
46	0.00252	0.00717	109.3	0.02028
47	0.00331	0.00684	115.8	0.01461
48	0.00405	0.00643	122.2	0.01014
49	0.00474	0.00594	128.6	0.0072
50	0.00537	0.00537	135.0	0.00545
51	0.00594	0.00474	141.4	0.00511
52	0.00643	0.00405	147.8	0.00641
53	0.00684	0.00331	154.2	0.00932
54	0.00717	0.00252	160.7	0.0118
55	0.00741	0.0017	167.1	0.01231
56	0.00755	0.00085	173.5	0.01058

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.01321
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.01438
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.02074
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.02761
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.03378
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.03841
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.04153
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.0434
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.05311
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.06344
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.0736
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.08247
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.08833
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.08968
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.08569
16	0.00085	-0.00755	-96.4	0.07668
17	0.0017	-0.00741	-102.9	0.06418
18	0.00252	-0.00717	-109.3	0.05047
19	0.00331	-0.00684	-115.8	0.03737
20	0.00405	-0.00643	-122.2	0.02656
21	0.00474	-0.00594	-128.6	0.01915
22	0.00537	-0.00537	-135.0	0.01466
23	0.00594	-0.00474	-141.4	0.01385
24	0.00643	-0.00405	-147.8	0.01391
25	0.00684	-0.00331	-154.2	0.01707
26	0.00717	-0.00252	-160.7	0.02217
27	0.00741	-0.0017	-167.1	0.0243
28	0.00755	-0.00085	-173.5	0.02289
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.02085
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.01954
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.0291
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.03751
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.04362
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.04716
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.04884
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.04881
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.05689
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.06498
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.07219
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.07753
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.07984
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.07816
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.07239
44	0.00085	0.007552	96.4	0.06321
45	0.0017	0.007407	102.9	0.05201
46	0.00252	0.007171	109.3	0.04061
47	0.00331	0.006842	115.8	0.03023
48	0.00405	0.006432	122.2	0.02191
49	0.00474	0.005938	128.6	0.01629
50	0.00537	0.005374	135.0	0.01266
51	0.00594	0.004743	141.4	0.01189
52	0.00643	0.004048	147.8	0.01224
53	0.00684	0.003309	154.2	0.01545
54	0.00717	0.002516	160.7	0.02018
55	0.00741	0.001701	167.1	0.02222
56	0.00755	0.000854	173.5	0.02115

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.019014
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.018906
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.028973
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.04094
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.051405
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.058813
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.063551
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.066347
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.081375
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.097622
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.113918
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.128673
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.139276
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.143349
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.139177
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.126565
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.107401
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.085171
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.063133
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.044533
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.031689
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.024076
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.023139
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.023117
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.026728
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.033589
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.037075
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.036821
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.034341
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.030182
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.04433
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.056382
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.065059
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.070066
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.072385
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.07242
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.084983
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.09795
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.109974
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.119529
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.124694
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.123789
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.116238
44	0.000854	0.007552	96.4	0.102864
45	0.001701	0.007407	102.9	0.085891
46	0.002516	0.007171	109.3	0.068228
47	0.003309	0.006842	115.8	0.051953
48	0.004048	0.006432	122.2	0.038812
49	0.004743	0.005938	128.6	0.029838
50	0.005374	0.005374	135.0	0.023157
51	0.005938	0.004743	141.4	0.021361
52	0.006432	0.004048	147.8	0.020878
53	0.006842	0.003309	154.2	0.022399
54	0.007171	0.002516	160.7	0.027363
55	0.007407	0.001701	167.1	0.032178
56	0.007552	0.000854	173.5	0.033239

mpiran B - 1 (Susunan Aligned)

Velocity magnitude Re 500 Pf 7 silinder 2

Velocity magnitude Re 750 Pf 7 silinder 2

Velocity magnitude Re 1000 Pf 7 silinder 2

	X	Y	θ	V
	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.00607
	-0.00755	-0.0009	-6.5	0.00823
	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.01098
	-0.00717	-0.0025	-19.3	0.01313
	-0.00684	-0.0033	-25.8	0.01477
	-0.00643	-0.004	-32.2	0.01598
	-0.00594	-0.0047	-38.6	0.01688
	-0.00537	-0.0054	-45.0	0.01741
	-0.00474	-0.0059	-51.4	0.02097
	-0.00405	-0.0064	-57.8	0.0246
	-0.00331	-0.0068	-64.2	0.02795
	-0.00252	-0.0072	-70.7	0.03055
	-0.0017	-0.0074	-77.1	0.03178
	-0.00085	-0.0076	-83.6	0.03125
	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.02896
	0.00085	-0.0076	-96.4	0.02518
	0.0017	-0.0074	-102.9	0.0205
	0.00252	-0.0072	-109.3	0.01571
	0.00331	-0.0068	-115.8	0.01133
	0.00405	-0.0064	-122.2	0.00783
	0.00474	-0.0059	-128.6	0.00551
	0.00537	-0.0054	-135.0	0.00416
	0.00594	-0.0047	-141.4	0.00414
	0.00643	-0.004	-147.8	0.00518
	0.00684	-0.0033	-154.2	0.00698
	0.00717	-0.0025	-160.7	0.0083
	0.00741	-0.0017	-167.1	0.00814
	0.00755	-0.0009	-173.5	0.00637
	0.0076	#####	-180.0	0.00543
	-0.00755	0.00085	6.5	0.00706
	-0.00741	0.0017	12.9	0.01091
	-0.00717	0.00252	19.3	0.01485
	-0.00684	0.00331	25.8	0.01788
	-0.00643	0.00405	32.2	0.01968
	-0.00594	0.00474	38.6	0.0206
	-0.00537	0.00537	45.0	0.02061
	-0.00474	0.00594	51.4	0.02376
	-0.00405	0.00643	57.8	0.02667
	-0.00331	0.00684	64.2	0.02901
	-0.00252	0.00717	70.7	0.03042
	-0.0017	0.00741	77.1	0.03051
	-0.00085	0.00755	83.6	0.02902
	4.90E-19	0.0076	90.0	0.02607
	0.00085	0.00755	96.4	0.02204
	0.0017	0.00741	102.9	0.01751
	0.00252	0.00717	109.3	0.01312
	0.00331	0.00684	115.8	0.00925
	0.00405	0.00643	122.2	0.00624
	0.00474	0.00594	128.6	0.00428
	0.00537	0.00537	135.0	0.00315
	0.00594	0.00474	141.4	0.00318
	0.00643	0.00405	147.8	0.00438
	0.00684	0.00331	154.2	0.00638
	0.00717	0.00252	160.7	0.00799
	0.00741	0.0017	167.1	0.00823
	0.00755	0.00085	173.5	0.00679

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.01035
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.01222
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.01703
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.0217
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.0258
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.02894
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.03116
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.0325
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.03963
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.04712
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.05437
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.06048
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.06421
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.06451
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.06098
16	0.00085	-0.00755	-96.4	0.05405
17	0.0017	-0.00741	-102.9	0.04491
18	0.00252	-0.00717	-109.3	0.03513
19	0.00331	-0.00684	-115.8	0.02595
20	0.00405	-0.00643	-122.2	0.01845
21	0.00474	-0.00594	-128.6	0.01331
22	0.00537	-0.00537	-135.0	0.01013
23	0.00594	-0.00474	-141.4	0.00938
24	0.00643	-0.00405	-147.8	0.00996
25	0.00684	-0.00331	-154.2	0.0129
26	0.00717	-0.00252	-160.7	0.01653
27	0.00741	-0.0017	-167.1	0.01776
28	0.00755	-0.00085	-173.5	0.01599
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.01409
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.01427
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.0215
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.02811
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.03298
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.03582
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.03719
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.03718
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.04318
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.04905
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.05414
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.0577
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.05893
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.05719
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.05249
44	0.00085	0.007552	96.4	0.04537
45	0.0017	0.007407	102.9	0.03693
46	0.00252	0.007171	109.3	0.02846
47	0.00331	0.006842	115.8	0.02084
48	0.00405	0.006432	122.2	0.01478
49	0.00474	0.005938	128.6	0.01073
50	0.00537	0.005374	135.0	0.00826
51	0.00594	0.004743	141.4	0.00769
52	0.00643	0.004048	147.8	0.00885
53	0.00684	0.003309	154.2	0.01224
54	0.00717	0.002516	160.7	0.01563
55	0.00741	0.001701	167.1	0.01662
56	0.00755	0.000854	173.5	0.01492

No	X	Y	θ	V
1	-0.0076	9.21E-19	0.0	0.014686
2	-0.00755	-0.00085	-6.5	0.015459
3	-0.00741	-0.0017	-12.9	0.022624
4	-0.00717	-0.00252	-19.3	0.030703
5	-0.00684	-0.00331	-25.8	0.03797
6	-0.00643	-0.00405	-32.2	0.043331
7	-0.00594	-0.00474	-38.6	0.046889
8	-0.00537	-0.00537	-45.0	0.049009
9	-0.00474	-0.00594	-51.4	0.060037
10	-0.00405	-0.00643	-57.8	0.07183
11	-0.00331	-0.00684	-64.2	0.083503
12	-0.00252	-0.00717	-70.7	0.093813
13	-0.0017	-0.00741	-77.1	0.100819
14	-0.00085	-0.00755	-83.6	0.102793
15	4.48E-19	-0.0076	-90.0	0.098682
16	0.000854	-0.00755	-96.4	0.088699
17	0.001701	-0.00741	-102.9	0.074505
18	0.002516	-0.00717	-109.3	0.058721
19	0.003309	-0.00684	-115.8	0.043516
20	0.004048	-0.00643	-122.2	0.030895
21	0.004743	-0.00594	-128.6	0.022235
22	0.005374	-0.00537	-135.0	0.016997
23	0.005938	-0.00474	-141.4	0.016128
24	0.006432	-0.00405	-147.8	0.016053
25	0.006842	-0.00331	-154.2	0.01932
26	0.007171	-0.00252	-160.7	0.025024
27	0.007407	-0.0017	-167.1	0.027559
28	0.007552	-0.00085	-173.5	0.026375
29	0.0076	-2.01E-19	-180.0	0.024285
30	-0.00755	0.000854	6.5	0.02226
31	-0.00741	0.001701	12.9	0.032963
32	-0.00717	0.002516	19.3	0.042278
33	-0.00684	0.003309	25.8	0.049013
34	-0.00643	0.004048	32.2	0.052905
35	-0.00594	0.004743	38.6	0.054739
36	-0.00537	0.005374	45.0	0.054707
37	-0.00474	0.005938	51.4	0.063874
38	-0.00405	0.006432	57.8	0.073121
39	-0.00331	0.006842	64.2	0.081467
40	-0.00252	0.007171	70.7	0.087789
41	-0.0017	0.007407	77.1	0.090724
42	-0.00085	0.007552	83.6	0.089152
43	4.90E-19	0.0076	90.0	0.082877
44	0.000854	0.007552	96.4	0.072639
45	0.001701	0.007407	102.9	0.06004
46	0.002516	0.007171	109.3	0.047127
47	0.003309	0.006842	115.8	0.035328
48	0.004048	0.006432	122.2	0.025832
49	0.004743	0.005938	128.6	0.019393
50	0.005374	0.005374	135.0	0.015054
51	0.005938	0.004743	141.4	0.014135
52	0.006432	0.004048	147.8	0.014133
53	0.006842	0.003309	154.2	0.017074
54	0.007171	0.002516	160.7	0.022243
55	0.007407	0.001701	167.1	0.024915
56	0.007552	0.000854	173.5	0.024293

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

Staggered Re 500, Pf3, silinder 1

Nu Aligned Re 750, Pf3, silinder 1

Nu Aligned Re 1000, Pf3, silinder 1

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2605.08
-0.006	-0.0014	-13.5	2610.57
-0.0057	-0.0023	-22.5	2504.07
-0.0052	-0.0032	-31.5	2296.04
-0.0047	-0.004	-40.5	2076.61
-0.004	-0.0047	-49.5	1995.97
-0.0032	-0.0052	-58.5	2048.17
-0.0023	-0.0057	-67.5	1907.3
-0.0014	-0.006	-76.5	1538.8
-0.0005	-0.0061	-85.5	1039.31
0.00048	-0.0061	-94.5	592.881
0.00143	-0.006	-103.5	300.243
0.00235	-0.0057	-112.5	142.362
0.0032	-0.0052	-121.5	71.6681
0.00398	-0.0047	-130.5	55.0084
0.00466	-0.004	-139.5	55.9477
0.00523	-0.0032	-148.5	134.077
0.00566	-0.0023	-157.5	251.563
0.00596	-0.0014	-166.5	408.947
0.00611	-0.0005	-175.5	555.728
-0.0061	0.00048	-175.5	2652.37
-0.006	0.00143	13.5	2625.69
-0.0057	0.00235	22.5	2493.89
-0.0052	0.0032	31.5	2273.7
-0.0047	0.00398	40.5	2049.16
-0.004	0.00466	49.5	1958.36
-0.0032	0.00523	58.5	1987.93
-0.0023	0.00566	67.5	1808.53
-0.0014	0.00596	76.5	1399.57
-0.0005	0.00611	85.5	888.533
0.00048	0.00611	94.5	473.875
0.00143	0.00596	103.5	229.092
0.00235	0.00566	112.5	110.377
0.0032	0.00523	121.5	60.7432
0.00398	0.00466	130.5	49.3061
0.00466	0.00398	139.5	57.5622
0.00523	0.0032	148.5	133.415
0.00566	0.00235	157.5	248.528
0.00596	0.00143	166.5	407.756
0.00611	0.00048	175.5	565.034

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3198.91
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3106.98
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2885.28
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2588.56
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2293.15
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2257.99
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2478.52
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2593.82
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2498.45
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2114.58
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1477.41
12	0.00143	-0.006	-103.5	785.121
13	0.00235	-0.0057	-112.5	276.033
14	0.0032	-0.0052	-121.5	43.433
15	0.00398	-0.0047	-130.5	67.7165
16	0.00466	-0.004	-139.5	138.709
17	0.00523	-0.0032	-148.5	300.555
18	0.00566	-0.0023	-157.5	505.151
19	0.00596	-0.0014	-166.5	764.444
20	0.00611	-0.0005	-175.5	979.687
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3239.36
22	-0.006	0.00143	13.5	3120.44
23	-0.0057	0.00235	22.5	2880.01
24	-0.0052	0.0032	31.5	2575.26
25	-0.0047	0.00398	40.5	2277.35
26	-0.004	0.00466	49.5	2237.83
27	-0.0032	0.00523	58.5	2445.75
28	-0.0023	0.00566	67.5	2537.88
29	-0.0014	0.00596	76.5	2401.39
30	-0.0005	0.00611	85.5	1959.44
31	0.00048	0.00611	94.5	1276.02
32	0.00143	0.00596	103.5	604.321
33	0.00235	0.00566	112.5	179.108
34	0.0032	0.00523	121.5	36.0132
35	0.00398	0.00466	130.5	65.3864
36	0.00466	0.00398	139.5	108.281
37	0.00523	0.0032	148.5	238.218
38	0.00566	0.00235	157.5	417.405
39	0.00596	0.00143	166.5	651.894
40	0.00611	0.00048	175.5	893.198

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3256.56
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3152.077
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2916.209
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2608.317
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2304.801
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2274.056
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2512.387
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2658.619
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2608.182
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2274.795
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1669.155
12	0.00143	-0.006	-103.5	952.3308
13	0.00235	-0.0057	-112.5	377.0506
14	0.0032	-0.0052	-121.5	57.70073
15	0.00398	-0.0047	-130.5	47.15158
16	0.00466	-0.004	-139.5	122.1325
17	0.00523	-0.0032	-148.5	296.5714
18	0.00566	-0.0023	-157.5	514.8621
19	0.00596	-0.0014	-166.5	792.6728
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1024.839
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3295.328
22	-0.006	0.00143	13.5	3164.892
23	-0.0057	0.00235	22.5	2911.372
24	-0.0052	0.0032	31.5	2596.047
25	-0.0047	0.00398	40.5	2290.045
26	-0.004	0.00466	49.5	2255.448
27	-0.0032	0.00523	58.5	2482.219
28	-0.0023	0.00566	67.5	2607.701
29	-0.0014	0.00596	76.5	2519.732
30	-0.0005	0.00611	85.5	2130.526
31	0.00048	0.00611	94.5	1468.976
32	0.00143	0.00596	103.5	752.7973
33	0.00235	0.00566	112.5	248.5626
34	0.0032	0.00523	121.5	31.80575
35	0.00398	0.00466	130.5	51.79605
36	0.00466	0.00398	139.5	94.84539
37	0.00523	0.0032	148.5	226.8975
38	0.00566	0.00235	157.5	407.7933
39	0.00596	0.00143	166.5	651.9877
40	0.00611	0.00048	175.5	910.9666

mpiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf3, silinder 3

Nu Aligned Re 750, Pf3, silinder 3

Nu Aligned Re 1000, Pf3, silinder 3

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2467.44
-0.006	-0.0014	-13.5	2517.9
-0.0057	-0.0023	-22.5	2451.94
-0.0052	-0.0032	-31.5	2281.37
-0.0047	-0.004	-40.5	2080.98
-0.004	-0.0047	-49.5	2000.36
-0.0032	-0.0052	-58.5	2045.89
-0.0023	-0.0057	-67.5	1902.29
-0.0014	-0.006	-76.5	1549.61
-0.0005	-0.0061	-85.5	1070.06
0.00048	-0.0061	-94.5	624.112
0.00143	-0.006	-103.5	318.571
0.00235	-0.0057	-112.5	151.482
0.0032	-0.0052	-121.5	76.5572
0.00398	-0.0047	-130.5	55.6586
0.00466	-0.004	-139.5	34.6106
0.00523	-0.0032	-148.5	69.4054
0.00566	-0.0023	-157.5	119.833
0.00596	-0.0014	-166.5	206.166
0.00611	-0.0005	-175.5	326.53
-0.0061	0.00048	-175.5	2509.2
-0.006	0.00143	13.5	2510.81
-0.0057	0.00235	22.5	2412.28
-0.0052	0.0032	31.5	2228.15
-0.0047	0.00398	40.5	2027.56
-0.004	0.00466	49.5	1935.61
-0.0032	0.00523	58.5	1954.34
-0.0023	0.00566	67.5	1772.69
-0.0014	0.00596	76.5	1375.76
-0.0005	0.00611	85.5	874.108
0.00048	0.00611	94.5	452.591
0.00143	0.00596	103.5	199.159
0.00235	0.00566	112.5	83.9832
0.0032	0.00523	121.5	44.954
0.00398	0.00466	130.5	49.3826
0.00466	0.00398	139.5	78.4253
0.00523	0.0032	148.5	159.233
0.00566	0.00235	157.5	267.235
0.00596	0.00143	166.5	382.234
0.00611	0.00048	175.5	444.67

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3192.11
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3121.84
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2913.11
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2619.43
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2319.87
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2286.18
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2508.93
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2622.47
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2528.16
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2162.61
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1554.38
12	0.00143	-0.006	-103.5	844.075
13	0.00235	-0.0057	-112.5	288.559
14	0.0032	-0.0052	-121.5	24.3508
15	0.00398	-0.0047	-130.5	36.3896
16	0.00466	-0.004	-139.5	38.2496
17	0.00523	-0.0032	-148.5	98.6431
18	0.00566	-0.0023	-157.5	187.467
19	0.00596	-0.0014	-166.5	333.782
20	0.00611	-0.0005	-175.5	526.305
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3227.49
22	-0.006	0.00143	13.5	3119.39
23	-0.0057	0.00235	22.5	2888.83
24	-0.0052	0.0032	31.5	2588.46
25	-0.0047	0.00398	40.5	2289.67
26	-0.004	0.00466	49.5	2251.48
27	-0.0032	0.00523	58.5	2459.07
28	-0.0023	0.00566	67.5	2547.14
29	-0.0014	0.00596	76.5	2411.12
30	-0.0005	0.00611	85.5	1979.32
31	0.00048	0.00611	94.5	1279.73
32	0.00143	0.00596	103.5	532.518
33	0.00235	0.00566	112.5	82.2765
34	0.0032	0.00523	121.5	28.1016
35	0.00398	0.00466	130.5	69.8855
36	0.00466	0.00398	139.5	112.672
37	0.00523	0.0032	148.5	230.408
38	0.00566	0.00235	157.5	392.172
39	0.00596	0.00143	166.5	587.661
40	0.00611	0.00048	175.5	724.131

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3265.345
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3179.017
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2952.2
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2644.461
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2334.583
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2305.185
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2546.864
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2692.635
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2641.436
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2318.368
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1737.588
12	0.00143	-0.006	-103.5	1005.911
13	0.00235	-0.0057	-112.5	374.0893
14	0.0032	-0.0052	-121.5	16.92299
15	0.00398	-0.0047	-130.5	35.69315
16	0.00466	-0.004	-139.5	36.80028
17	0.00523	-0.0032	-148.5	100.9814
18	0.00566	-0.0023	-157.5	198.9027
19	0.00596	-0.0014	-166.5	359.8509
20	0.00611	-0.0005	-175.5	569.106
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3299.368
22	-0.006	0.00143	13.5	3177.237
23	-0.0057	0.00235	22.5	2930.055
24	-0.0052	0.0032	31.5	2616.204
25	-0.0047	0.00398	40.5	2307.016
26	-0.004	0.00466	49.5	2273.685
27	-0.0032	0.00523	58.5	2501.621
28	-0.0023	0.00566	67.5	2624.228
29	-0.0014	0.00596	76.5	2534.461
30	-0.0005	0.00611	85.5	2150.088
31	0.00048	0.00611	94.5	1472.176
32	0.00143	0.00596	103.5	676.1431
33	0.00235	0.00566	112.5	108.1777
34	0.0032	0.00523	121.5	12.70757
35	0.00398	0.00466	130.5	66.70313
36	0.00466	0.00398	139.5	111.3526
37	0.00523	0.0032	148.5	235.764
38	0.00566	0.00235	157.5	407.0675
39	0.00596	0.00143	166.5	622.2072
40	0.00611	0.00048	175.5	785.9753

mpiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf3, silinder 4

Nu Aligned Re 750, Pf3, silinder 4

Nu Aligned Re 1000, Pf3, silinder 4

X	Y	θ	Nu
-0.00611	-0.00048	0.0	2594.98
-0.00596	-0.00143	-13.5	2595.395
-0.00566	-0.00235	-22.5	2490.897
-0.00523	-0.0032	-31.5	2294.797
-0.00466	-0.00398	-40.5	2081.104
-0.00398	-0.00466	-49.5	1992.99
-0.0032	-0.00523	-58.5	2025.24
-0.00235	-0.00566	-67.5	1854.41
-0.00143	-0.00596	-76.5	1457.237
-0.00048	-0.00611	-85.5	937.4866
0.00048	-0.00611	-94.5	490.1048
0.00143	-0.00596	-103.5	221.4444
0.00235	-0.00566	-112.5	101.5025
0.0032	-0.00523	-121.5	54.92607
0.00398	-0.00466	-130.5	41.86114
0.00466	-0.00398	-139.5	27.08456
0.00523	-0.0032	-148.5	65.4913
0.00566	-0.00235	-157.5	141.1801
0.00596	-0.00143	-166.5	259.4514
0.00611	-0.00048	-175.5	375.9644
-0.00611	0.00048	-175.5	2549.704
-0.00596	0.00143	13.5	2568.969
-0.00566	0.00235	22.5	2484.643
-0.00523	0.0032	31.5	2300.553
-0.00466	0.00398	40.5	2091.573
-0.00398	0.00466	49.5	2008.87
-0.0032	0.00523	58.5	2053.408
-0.00235	0.00566	67.5	1905.235
-0.00143	0.00596	76.5	1541.726
-0.00048	0.00611	85.5	1050.067
0.00048	0.00611	94.5	601.1202
0.00143	0.00596	103.5	305.0828
0.00235	0.00566	112.5	149.489
0.0032	0.00523	121.5	79.20804
0.00398	0.00466	130.5	58.20012
0.00466	0.00398	139.5	24.42974
0.00523	0.0032	148.5	41.21066
0.00566	0.00235	157.5	90.14418
0.00596	0.00143	166.5	175.3076
0.00611	0.00048	175.5	288.4056

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.00048	0.0	3318.6
2	-0.006	-0.00143	-13.5	3201.67
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2960.1
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2648.74
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	2339
6	-0.004	-0.00466	-49.5	2302.47
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2522.84
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2627.43
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2510.78
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	2102.87
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1430.37
12	0.00143	-0.00596	-103.5	692.124
13	0.00235	-0.00566	-112.5	193.845
14	0.0032	-0.00523	-121.5	17.4288
15	0.00398	-0.00466	-130.5	43.7176
16	0.00466	-0.00398	-139.5	49.3699
17	0.00523	-0.0032	-148.5	137.895
18	0.00566	-0.00235	-157.5	318.23
19	0.00596	-0.00143	-166.5	584.389
20	0.00611	-0.00048	-175.5	859.264
21	-0.0061	0.000482	-175.5	3280.82
22	-0.006	0.001431	13.5	3179.58
23	-0.0057	0.002346	22.5	2953.81
24	-0.0052	0.003204	31.5	2650.03
25	-0.0047	0.003981	40.5	2343.35
26	-0.004	0.004662	49.5	2308.98
27	-0.0032	0.005227	58.5	2534.87
28	-0.0023	0.005664	67.5	2651.51
29	-0.0014	0.005962	76.5	2559.08
30	-0.0005	0.006112	85.5	2193.67
31	0.00048	0.006112	94.5	1582.68
32	0.00143	0.005962	103.5	877.155
33	0.00235	0.005664	112.5	341.772
34	0.0032	0.005227	121.5	71.4694
35	0.00398	0.004662	130.5	21.4154
36	0.00466	0.003981	139.5	30.6179
37	0.00523	0.003204	148.5	64.6707
38	0.00566	0.002346	157.5	165.292
39	0.00596	0.001431	166.5	357.491
40	0.00611	0.000482	175.5	619.448

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	3390.799
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	3259.494
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	3001.364
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2676.586
5	-0.00466	-0.004	-40.5	2356.673
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	2324.813
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2565.417
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2704.705
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2635.684
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	2277.804
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1638.67
12	0.00143	-0.006	-103.5	867.9989
13	0.00235	-0.0057	-112.5	279.8517
14	0.0032	-0.0052	-121.5	7.481581
15	0.00398	-0.0047	-130.5	49.16135
16	0.00466	-0.004	-139.5	53.71192
17	0.00523	-0.0032	-148.5	140.2833
18	0.00566	-0.0023	-157.5	340.0088
19	0.00596	-0.0014	-166.5	641.838
20	0.00611	-0.0005	-175.5	954.3785
21	-0.00611	0.0005	-175.5	3354.792
22	-0.00596	0.0014	13.5	3238.447
23	-0.00566	0.0023	22.5	2995.085
24	-0.00523	0.0032	31.5	2677.32
25	-0.00466	0.004	40.5	2360.28
26	-0.00398	0.0047	49.5	2330.253
27	-0.0032	0.0052	58.5	2575.533
28	-0.00235	0.0057	67.5	2725.155
29	-0.00143	0.006	76.5	2677.3
30	-0.00048	0.0061	85.5	2357.467
31	0.00048	0.0061	94.5	1778.801
32	0.00143	0.006	103.5	1056.615
33	0.00235	0.0057	112.5	446.2043
34	0.0032	0.0052	121.5	98.96442
35	0.00398	0.0047	130.5	10.17573
36	0.00466	0.004	139.5	36.02945
37	0.00523	0.0032	148.5	68.09013
38	0.00566	0.0023	157.5	174.3189
39	0.00596	0.0014	166.5	387.0952
40	0.00611	0.0005	175.5	682.5135

mpiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf3, silinder 5

Nu Aligned Re 750, Pf3, silinder 5

Nu Aligned Re 1000, Pf3, silinder 5

X	Y	θ	Nu
-0.00611	-0.00048	0.0	1710
-0.00596	-0.00143	-13.5	1660
-0.00566	-0.00235	-22.5	1570
-0.00523	-0.0032	-31.5	1453.569
-0.00466	-0.00398	-40.5	1431.397
-0.00398	-0.00466	-49.5	1410.895
-0.0032	-0.00523	-58.5	1436.862
-0.00235	-0.00566	-67.5	1310.492
-0.00143	-0.00596	-76.5	1055.106
-0.00048	-0.00611	-85.5	757.2375
0.00048	-0.00611	-94.5	504.5878
0.00143	-0.00596	-103.5	321.0851
0.00235	-0.00566	-112.5	196.9393
0.0032	-0.00523	-121.5	119.9879
0.00398	-0.00466	-130.5	96.04597
0.00466	-0.00398	-139.5	47.29569
0.00523	-0.0032	-148.5	55.37991
0.00566	-0.00235	-157.5	114.1853
0.00596	-0.00143	-166.5	226.8111
0.00611	-0.00048	-175.5	371.2602
-0.00611	0.00048	-175.5	629.9445
-0.00596	0.00143	13.5	1650
-0.00566	0.00235	22.5	1580
-0.00523	0.0032	31.5	1480
-0.00466	0.00398	40.5	1436.262
-0.00398	0.00466	49.5	1406.144
-0.0032	0.00523	58.5	1423.94
-0.00235	0.00566	67.5	1289.771
-0.00143	0.00596	76.5	1024.214
-0.00048	0.00611	85.5	718.2537
0.00048	0.00611	94.5	460.5729
0.00143	0.00596	103.5	278.2923
0.00235	0.00566	112.5	158.4754
0.0032	0.00523	121.5	90.39459
0.00398	0.00466	130.5	66.67019
0.00466	0.00398	139.5	38.44755
0.00523	0.0032	148.5	82.28982
0.00566	0.00235	157.5	176.0559
0.00596	0.00143	166.5	318.9895
0.00611	0.00048	175.5	454.2496

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.00048	0.0	2240
2	-0.006	-0.00143	-13.5	2210
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2118.97
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2027.94
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	1867.91
6	-0.004	-0.00466	-49.5	1881.66
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2076.92
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2155.85
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2043.71
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	1711.86
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1224.34
12	0.00143	-0.00596	-103.5	713.621
13	0.00235	-0.00566	-112.5	341.088
14	0.0032	-0.00523	-121.5	161.41
15	0.00398	-0.00466	-130.5	126.808
16	0.00466	-0.00398	-139.5	67.5547
17	0.00523	-0.0032	-148.5	114.101
18	0.00566	-0.00235	-157.5	242.529
19	0.00596	-0.00143	-166.5	475.465
20	0.00611	-0.00048	-175.5	754.997
21	-0.0061	0.000482	-175.5	786.714
22	-0.006	0.001431	13.5	2210
23	-0.0057	0.002346	22.5	2130
24	-0.0052	0.003204	31.5	2061.54
25	-0.0047	0.003981	40.5	1920.54
26	-0.004	0.004662	49.5	1916.39
27	-0.0032	0.005227	58.5	2100.25
28	-0.0023	0.005664	67.5	2174.56
29	-0.0014	0.005962	76.5	2057.95
30	-0.0005	0.006112	85.5	1699.92
31	0.00048	0.006112	94.5	1159.14
32	0.00143	0.005962	103.5	617.511
33	0.00235	0.005664	112.5	251.279
34	0.0032	0.005227	121.5	82.5141
35	0.00398	0.004662	130.5	58.8982
36	0.00466	0.003981	139.5	70.1489
37	0.00523	0.003204	148.5	175.378
38	0.00566	0.002346	157.5	351.191
39	0.00596	0.001431	166.5	605.776
40	0.00611	0.000482	175.5	855.006

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	2360
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	2300
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	2241.364
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2120.953
5	-0.00466	-0.004	-40.5	1939.758
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	1956.228
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2177.566
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2293.91
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2222.672
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	1918.817
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1428.208
12	0.00143	-0.006	-103.5	867.7293
13	0.00235	-0.0057	-112.5	417.4918
14	0.0032	-0.0052	-121.5	188.1436
15	0.00398	-0.0047	-130.5	145.2682
16	0.00466	-0.004	-139.5	78.03817
17	0.00523	-0.0032	-148.5	124.057
18	0.00566	-0.0023	-157.5	267.2557
19	0.00596	-0.0014	-166.5	535.1348
20	0.00611	-0.0005	-175.5	849.3682
21	-0.00611	0.0005	-175.5	1497.049
22	-0.00596	0.0014	13.5	2310
23	-0.00566	0.0023	22.5	2226.064
24	-0.00523	0.0032	31.5	2164.985
25	-0.00466	0.004	40.5	1998.253
26	-0.00398	0.0047	49.5	1996.074
27	-0.0032	0.0052	58.5	2205.507
28	-0.00235	0.0057	67.5	2317.589
29	-0.00143	0.006	76.5	2244.991
30	-0.00048	0.0061	85.5	1921.034
31	0.00048	0.0061	94.5	1372.508
32	0.00143	0.006	103.5	763.4604
33	0.00235	0.0057	112.5	315.4076
34	0.0032	0.0052	121.5	92.74129
35	0.00398	0.0047	130.5	60.84258
36	0.00466	0.004	139.5	68.30504
37	0.00523	0.0032	148.5	178.3888
38	0.00566	0.0023	157.5	366.1622
39	0.00596	0.0014	166.5	638.5925
40	0.00611	0.0005	175.5	918.8431

mpiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf5, silinder 1

Nu Staggered Re 750, Pf5, silinder 1

Nu Staggered Re 1000, Pf5, silinder 1

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2579.27
-0.006	-0.0014	-13.5	2604.86
-0.0057	-0.0023	-22.5	2518.22
-0.0052	-0.0032	-31.5	2334.54
-0.0047	-0.004	-40.5	2142.64
-0.004	-0.0047	-49.5	2069.05
-0.0032	-0.0052	-58.5	2145.98
-0.0023	-0.0057	-67.5	2054.76
-0.0014	-0.006	-76.5	1772.44
-0.0005	-0.0061	-85.5	1357.89
0.00048	-0.0061	-94.5	913.361
0.00143	-0.006	-103.5	515.309
0.00235	-0.0057	-112.5	218.039
0.0032	-0.0052	-121.5	83.311
0.00398	-0.0047	-130.5	69.2627
0.00466	-0.004	-139.5	92.4891
0.00523	-0.0032	-148.5	190.794
0.00566	-0.0023	-157.5	314.756
0.00596	-0.0014	-166.5	473.434
0.00611	-0.0005	-175.5	619.043
-0.0061	0.00048	-175.5	2632.53
-0.006	0.00143	13.5	2622.83
-0.0057	0.00235	22.5	2510.61
-0.0052	0.0032	31.5	2314.83
-0.0047	0.00398	40.5	2118.43
-0.004	0.00466	49.5	2038.52
-0.0032	0.00523	58.5	2098.79
-0.0023	0.00566	67.5	1983.36
-0.0014	0.00596	76.5	1673.85
-0.0005	0.00611	85.5	1236.08
0.00048	0.00611	94.5	782.368
0.00143	0.00596	103.5	400.212
0.00235	0.00566	112.5	157.97
0.0032	0.00523	121.5	70.9193
0.00398	0.00466	130.5	67.5123
0.00466	0.00398	139.5	96.6256
0.00523	0.0032	148.5	192.243
0.00566	0.00235	157.5	316.088
0.00596	0.00143	166.5	479.211
0.00611	0.00048	175.5	639.415

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3055.83
2	-0.006	-0.0014	-13.5	2995.14
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2806.66
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2537.8
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2267.58
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2234.92
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2448.57
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2558.71
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2480.76
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2171.62
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1675.54
12	0.00143	-0.006	-103.5	1082.81
13	0.00235	-0.0057	-112.5	452.568
14	0.0032	-0.0052	-121.5	38.6202
15	0.00398	-0.0047	-130.5	126.014
16	0.00466	-0.004	-139.5	224.976
17	0.00523	-0.0032	-148.5	390.739
18	0.00566	-0.0023	-157.5	582.811
19	0.00596	-0.0014	-166.5	791.538
20	0.00611	-0.0005	-175.5	965.421
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3106.15
22	-0.006	0.00143	13.5	3013.4
23	-0.0057	0.00235	22.5	2803.38
24	-0.0052	0.0032	31.5	2525.4
25	-0.0047	0.00398	40.5	2251.97
26	-0.004	0.00466	49.5	2215.46
27	-0.0032	0.00523	58.5	2417.53
28	-0.0023	0.00566	67.5	2508.48
29	-0.0014	0.00596	76.5	2403.29
30	-0.0005	0.00611	85.5	2061.16
31	0.00048	0.00611	94.5	1531.78
32	0.00143	0.00596	103.5	911.812
33	0.00235	0.00566	112.5	302.184
34	0.0032	0.00523	121.5	28.5915
35	0.00398	0.00466	130.5	120.517
36	0.00466	0.00398	139.5	184.118
37	0.00523	0.0032	148.5	336.606
38	0.00566	0.00235	157.5	526.557
39	0.00596	0.00143	166.5	754.236
40	0.00611	0.00048	175.5	970.485

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3110.694
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3037.198
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2834.498
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2554.39
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2274.706
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2245.951
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2475.037
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2611.228
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2566.911
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2288.711
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1809.384
12	0.00143	-0.006	-103.5	1216.575
13	0.00235	-0.0057	-112.5	571.6122
14	0.0032	-0.0052	-121.5	47.63134
15	0.00398	-0.0047	-130.5	103.9069
16	0.00466	-0.004	-139.5	233.2761
17	0.00523	-0.0032	-148.5	406.6539
18	0.00566	-0.0023	-157.5	608.8487
19	0.00596	-0.0014	-166.5	825.4266
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1000.995
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3159.645
22	-0.006	0.00143	13.5	3055.132
23	-0.0057	0.00235	22.5	2831.761
24	-0.0052	0.0032	31.5	2542.939
25	-0.0047	0.00398	40.5	2260.201
26	-0.004	0.00466	49.5	2227.845
27	-0.0032	0.00523	58.5	2446.069
28	-0.0023	0.00566	67.5	2564.044
29	-0.0014	0.00596	76.5	2493.314
30	-0.0005	0.00611	85.5	2182.04
31	0.00048	0.00611	94.5	1667.753
32	0.00143	0.00596	103.5	1044.406
33	0.00235	0.00566	112.5	389.7078
34	0.0032	0.00523	121.5	16.76119
35	0.00398	0.00466	130.5	112.2792
36	0.00466	0.00398	139.5	187.4368
37	0.00523	0.0032	148.5	339.0679
38	0.00566	0.00235	157.5	532.994
39	0.00596	0.00143	166.5	765.1152
40	0.00611	0.00048	175.5	988.8994

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf5, silinder 3

Nu Staggered Re 750, Pf5, silinder 3

Nu Staggered Re 1000, Pf5, silinder 3

X	Y	θ	Nu
-0.00611	-0.00048	0.0	2766.764
-0.00596	-0.00143	-13.5	2790.106
-0.00566	-0.00235	-22.5	2678.288
-0.00523	-0.0032	-31.5	2467.608
-0.00466	-0.00398	-40.5	2244.005
-0.00398	-0.00466	-49.5	2171.513
-0.0032	-0.00523	-58.5	2268.72
-0.00235	-0.00566	-67.5	2191.987
-0.00143	-0.00596	-76.5	1900.726
-0.00048	-0.00611	-85.5	1447.042
0.00048	-0.00611	-94.5	961.4536
0.00143	-0.00596	-103.5	538.3319
0.00235	-0.00566	-112.5	230.7975
0.0032	-0.00523	-121.5	96.31579
0.00398	-0.00466	-130.5	78.1538
0.00466	-0.00398	-139.5	64.35709
0.00523	-0.0032	-148.5	128.8352
0.00566	-0.00235	-157.5	192.4317
0.00596	-0.00143	-166.5	296.1509
0.00611	-0.00048	-175.5	439.3131
-0.00611	0.00048	-175.5	2807.87
-0.00596	0.00143	13.5	2776.397
-0.00566	0.00235	22.5	2635.652
-0.00523	0.0032	31.5	2414.749
-0.00466	0.00398	40.5	2192.801
-0.00398	0.00466	49.5	2113.514
-0.0032	0.00523	58.5	2188.993
-0.00235	0.00566	67.5	2082.318
-0.00143	0.00596	76.5	1755.172
-0.00048	0.00611	85.5	1273.388
0.00048	0.00611	94.5	770.3724
0.00143	0.00596	103.5	357.9875
0.00235	0.00566	112.5	129.853
0.0032	0.00523	121.5	72.2037
0.00398	0.00466	130.5	82.97256
0.00466	0.00398	139.5	121.1301
0.00523	0.0032	148.5	227.1384
0.00566	0.00235	157.5	355.1582
0.00596	0.00143	166.5	496.0719
0.00611	0.00048	175.5	589.7904

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.00048	0.0	3275.66
2	-0.006	-0.00143	-13.5	3203.15
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2980.28
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2675.92
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	2372.18
6	-0.004	-0.00466	-49.5	2340.03
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2580.41
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2722.48
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2668.18
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	2353.25
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1812.3
12	0.00143	-0.00596	-103.5	1161.21
13	0.00235	-0.00566	-112.5	454.057
14	0.0032	-0.00523	-121.5	51.4841
15	0.00398	-0.00466	-130.5	152.862
16	0.00466	-0.00398	-139.5	143.183
17	0.00523	-0.0032	-148.5	238.535
18	0.00566	-0.00235	-157.5	325.095
19	0.00596	-0.00143	-166.5	480.566
20	0.00611	-0.00048	-175.5	678.748
21	-0.0061	0.000482	-175.5	3314.08
22	-0.006	0.001431	13.5	3197.47
23	-0.0057	0.002346	22.5	2953.58
24	-0.0052	0.003204	31.5	2643.55
25	-0.0047	0.003981	40.5	2341.28
26	-0.004	0.004662	49.5	2305.63
27	-0.0032	0.005227	58.5	2531.17
28	-0.0023	0.005664	67.5	2648.88
29	-0.0014	0.005962	76.5	2557.03
30	-0.0005	0.006112	85.5	2188.09
31	0.00048	0.006112	94.5	1584
32	0.00143	0.005962	103.5	866.873
33	0.00235	0.005664	112.5	182.527
34	0.0032	0.005227	121.5	75.3194
35	0.00398	0.004662	130.5	124.995
36	0.00466	0.003981	139.5	164.039
37	0.00523	0.003204	148.5	316.056
38	0.00566	0.002346	157.5	504.224
39	0.00596	0.001431	166.5	726.376
40	0.00611	0.000482	175.5	906.325

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	3327.256
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	3241.34
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	3004.233
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2688.899
5	-0.00466	-0.004	-40.5	2376.583
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	2348.213
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2603.668
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2771.896
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2752.994
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	2472.532
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1949.123
12	0.00143	-0.006	-103.5	1290.909
13	0.00235	-0.0057	-112.5	519.9752
14	0.0032	-0.0052	-121.5	55.03371
15	0.00398	-0.0047	-130.5	184.8218
16	0.00466	-0.004	-139.5	168.9112
17	0.00523	-0.0032	-148.5	262.4219
18	0.00566	-0.0023	-157.5	349.8414
19	0.00596	-0.0014	-166.5	510.4819
20	0.00611	-0.0005	-175.5	716.7034
21	-0.00611	0.0005	-175.5	3364.534
22	-0.00596	0.0014	13.5	3236.7
23	-0.00566	0.0023	22.5	2979.773
24	-0.00523	0.0032	31.5	2659.194
25	-0.00466	0.004	40.5	2348.187
26	-0.00398	0.0047	49.5	2316.629
27	-0.0032	0.0052	58.5	2558.277
28	-0.00235	0.0057	67.5	2703.631
29	-0.00143	0.006	76.5	2648.602
30	-0.00048	0.0061	85.5	2314.511
31	0.00048	0.0061	94.5	1724.201
32	0.00143	0.006	103.5	986.124
33	0.00235	0.0057	112.5	213.1344
34	0.0032	0.0052	121.5	92.31356
35	0.00398	0.0047	130.5	141.0546
36	0.00466	0.004	139.5	165.7499
37	0.00523	0.0032	148.5	324.7784
38	0.00566	0.0023	157.5	522.9169
39	0.00596	0.0014	166.5	760.0776
40	0.00611	0.0005	175.5	956.037

mpiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

Staggered Re 500, Pf5, silinder 4

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2880.77
-0.006	-0.0014	-13.5	2847.08
-0.0057	-0.0023	-22.5	2701.66
-0.0052	-0.0032	-31.5	2474.25
-0.0047	-0.004	-40.5	2243.04
-0.004	-0.0047	-49.5	2166.04
-0.0032	-0.0052	-58.5	2253
-0.0023	-0.0057	-67.5	2155.53
-0.0014	-0.006	-76.5	1829.32
-0.0005	-0.0061	-85.5	1335.34
0.00048	-0.0061	-94.5	818.166
0.00143	-0.006	-103.5	395.683
0.00235	-0.0057	-112.5	150.522
0.0032	-0.0052	-121.5	83.5889
0.00398	-0.0047	-130.5	70.2748
0.00466	-0.004	-139.5	50.8806
0.00523	-0.0032	-148.5	112.894
0.00566	-0.0023	-157.5	205.271
0.00596	-0.0014	-166.5	341.182
0.00611	-0.0005	-175.5	477.607
-0.0061	0.00048	-175.5	2838.21
-0.006	0.00143	13.5	2825.65
-0.0057	0.00235	22.5	2697.86
-0.0052	0.0032	31.5	2479.42
-0.0047	0.00398	40.5	2251.87
-0.004	0.00466	49.5	2177.9
-0.0032	0.00523	58.5	2273.46
-0.0023	0.00566	67.5	2192.97
-0.0014	0.00596	76.5	1894.82
-0.0005	0.00611	85.5	1433.93
0.00048	0.00611	94.5	942.522
0.00143	0.00596	103.5	519.37
0.00235	0.00566	112.5	219.3
0.0032	0.00523	121.5	95.6731
0.00398	0.00466	130.5	73.0542
0.00466	0.00398	139.5	37.5487
0.00523	0.0032	148.5	80.2201
0.00566	0.00235	157.5	145.491
0.00596	0.00143	166.5	246.578
0.00611	0.00048	175.5	376.837

Nu Staggered Re 750, Pf5, silinder 4

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3395.15
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3270.64
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	3018.79
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2700.25
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2388.94
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2354.45
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2591.59
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2724.07
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2648.98
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2298.21
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1712.77
12	0.00143	-0.006	-103.5	1018.74
13	0.00235	-0.0057	-112.5	307.56
14	0.0032	-0.0052	-121.5	27.6873
15	0.00398	-0.0047	-130.5	72.515
16	0.00466	-0.004	-139.5	97.7001
17	0.00523	-0.0032	-148.5	239.504
18	0.00566	-0.0023	-157.5	447.388
19	0.00596	-0.0014	-166.5	726.763
20	0.00611	-0.0005	-175.5	978.965
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3356.6
22	-0.006	0.00143	13.5	3250.6
23	-0.0057	0.00235	22.5	3013.36
24	-0.0052	0.0032	31.5	2701.53
25	-0.0047	0.00398	40.5	2393.05
26	-0.004	0.00466	49.5	2360.09
27	-0.0032	0.00523	58.5	2601.82
28	-0.0023	0.00566	67.5	2744.38
29	-0.0014	0.00596	76.5	2689.59
30	-0.0005	0.00611	85.5	2374.21
31	0.00048	0.00611	94.5	1836.83
32	0.00143	0.00596	103.5	1193.32
33	0.00235	0.00566	112.5	508.178
34	0.0032	0.00523	121.5	34.5266
35	0.00398	0.00466	130.5	53.9344
36	0.00466	0.00398	139.5	40.966
37	0.00523	0.0032	148.5	129.836
38	0.00566	0.00235	157.5	268.903
39	0.00596	0.00143	166.5	488.757
40	0.00611	0.00048	175.5	760.502

Nu Staggered Re 1000, Pf5, silinder 4

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3446.873
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3310.719
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	3045.602
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2716.245
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2396.211
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2365.73
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2619.007
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2779.511
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2742.777
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2430.644
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1865.713
12	0.00143	-0.006	-103.5	1165.763
13	0.00235	-0.0057	-112.5	383.4079
14	0.0032	-0.0052	-121.5	15.34407
15	0.00398	-0.0047	-130.5	69.43596
16	0.00466	-0.004	-139.5	103.1263
17	0.00523	-0.0032	-148.5	263.3826
18	0.00566	-0.0023	-157.5	490.1178
19	0.00596	-0.0014	-166.5	795.4063
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1070.4
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3409.687
22	-0.006	0.00143	13.5	3291.277
23	-0.0057	0.00235	22.5	3040.022
24	-0.0052	0.0032	31.5	2717.001
25	-0.0047	0.00398	40.5	2399.667
26	-0.004	0.00466	49.5	2370.536
27	-0.0032	0.00523	58.5	2627.804
28	-0.0023	0.00566	67.5	2797.171
29	-0.0014	0.00596	76.5	2778.682
30	-0.0005	0.00611	85.5	2499.264
31	0.00048	0.00611	94.5	1981.61
32	0.00143	0.00596	103.5	1334.694
33	0.00235	0.00566	112.5	602.9744
34	0.0032	0.00523	121.5	35.50902
35	0.00398	0.00466	130.5	46.47508
36	0.00466	0.00398	139.5	37.03076
37	0.00523	0.0032	148.5	139.2551
38	0.00566	0.00235	157.5	293.7323
39	0.00596	0.00143	166.5	533.7237
40	0.00611	0.00048	175.5	831.7632

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

staggered Re 500, Pf5, silinder 5

Nu Staggered Re 750, Pf5, silinder 5

Nu Staggered Re 1000, Pf5, silinder 5

X	Y	θ	Nu
-0.00811	-0.00048	0.0	2350
-0.00596	-0.00143	-13.5	2230
-0.00566	-0.00235	-22.5	1970
-0.00523	-0.0032	-31.5	1803.509
-0.00466	-0.00398	-40.5	1730.102
-0.00398	-0.00466	-49.5	1712.211
-0.0032	-0.00523	-58.5	1789.809
-0.00235	-0.00566	-67.5	1708.644
-0.00143	-0.00596	-76.5	1462.353
-0.00048	-0.00611	-85.5	1120.712
0.00048	-0.00611	-94.5	786.4108
0.00143	-0.00596	-103.5	505.4291
0.00235	-0.00566	-112.5	285.6825
0.0032	-0.00523	-121.5	139.4884
0.00398	-0.00466	-130.5	87.1656
0.00466	-0.00398	-139.5	38.57255
0.00523	-0.0032	-148.5	71.6899
0.00566	-0.00235	-157.5	155.3362
0.00596	-0.00143	-166.5	284.5198
0.00611	-0.00048	-175.5	442.2556
-0.00611	0.00048	-175.5	786.642
-0.00596	0.00143	13.5	2280
-0.00566	0.00235	22.5	2090
-0.00523	0.0032	31.5	1900
-0.00466	0.00398	40.5	1588.394
-0.00398	0.00466	49.5	1570.856
-0.0032	0.00523	58.5	1630.033
-0.00235	0.00566	67.5	1544.202
-0.00143	0.00596	76.5	1312.486
-0.00048	0.00611	85.5	1003.403
0.00048	0.00611	94.5	696.8762
0.00143	0.00596	103.5	432.7416
0.00235	0.00566	112.5	227.6993
0.0032	0.00523	121.5	104.0441
0.00398	0.00466	130.5	63.65584
0.00466	0.00398	139.5	46.49089
0.00523	0.0032	148.5	117.1064
0.00566	0.00235	157.5	229.8692
0.00596	0.00143	166.5	387.1283
0.00611	0.00048	175.5	533.9799

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00811	-0.00048	0.0	2620
2	-0.006	-0.00143	-13.5	2540
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2446.35
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2283.51
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	2091.95
6	-0.004	-0.00466	-49.5	2104.92
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2338.41
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2467.14
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2405.49
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	2109.15
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1629.23
12	0.00143	-0.00596	-103.5	1082.16
13	0.00235	-0.00566	-112.5	564.788
14	0.0032	-0.00523	-121.5	176.205
15	0.00398	-0.00466	-130.5	27.4557
16	0.00466	-0.00398	-139.5	41.8518
17	0.00523	-0.0032	-148.5	157.533
18	0.00566	-0.00235	-157.5	323.257
19	0.00596	-0.00143	-166.5	566.121
20	0.00611	-0.00048	-175.5	826.286
21	-0.0061	0.000482	-175.5	1089.66
22	-0.006	0.001431	13.5	2520
23	-0.0057	0.002346	22.5	2370
24	-0.0052	0.003204	31.5	2250
25	-0.0047	0.003981	40.5	1990
26	-0.004	0.004662	49.5	1875.54
27	-0.0032	0.005227	58.5	2064.83
28	-0.0023	0.005664	67.5	2149.79
29	-0.0014	0.005962	76.5	2062.63
30	-0.0005	0.006112	85.5	1778.99
31	0.00048	0.006112	94.5	1349.79
32	0.00143	0.005962	103.5	859.201
33	0.00235	0.005664	112.5	388.693
34	0.0032	0.005227	121.5	63.313
35	0.00398	0.004662	130.5	45.4256
36	0.00466	0.003981	139.5	114.033
37	0.00523	0.003204	148.5	258.84
38	0.00566	0.002346	157.5	458.989
39	0.00596	0.001431	166.5	712.053
40	0.00611	0.000482	175.5	936.977

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	2760
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	2620
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	2558.913
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2370.888
5	-0.00466	-0.004	-40.5	2157.608
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	2172.955
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2430.214
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2593.981
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2573.257
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	2308.186
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1833.165
12	0.00143	-0.006	-103.5	1258.662
13	0.00235	-0.0057	-112.5	687.2016
14	0.0032	-0.0052	-121.5	227.4486
15	0.00398	-0.0047	-130.5	21.5227
16	0.00466	-0.004	-139.5	34.46201
17	0.00523	-0.0032	-148.5	175.1947
18	0.00566	-0.0023	-157.5	365.2091
19	0.00596	-0.0014	-166.5	631.2921
20	0.00611	-0.0005	-175.5	910.1279
21	-0.00611	0.0005	-175.5	1222.943
22	-0.00596	0.0014	13.5	2710
23	-0.00566	0.0023	22.5	2670
24	-0.00523	0.0032	31.5	2520
25	-0.00466	0.004	40.5	2300
26	-0.00398	0.0047	49.5	1943.994
27	-0.0032	0.0052	58.5	2155.413
28	-0.00235	0.0057	67.5	2272.043
29	-0.00143	0.006	76.5	2219.105
30	-0.00048	0.0061	85.5	1957.661
31	0.00048	0.0061	94.5	1526.115
32	0.00143	0.006	103.5	1008.624
33	0.00235	0.0057	112.5	482.6441
34	0.0032	0.0052	121.5	74.89686
35	0.00398	0.0047	130.5	30.75655
36	0.00466	0.004	139.5	120.6358
37	0.00523	0.0032	148.5	276.8287
38	0.00566	0.0023	157.5	488.1493
39	0.00596	0.0014	166.5	759.3504
40	0.00611	0.0005	175.5	1000.934

mpiran B-1

DATA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

Staggered Re 500, Pf7, silinder 1

Nu Staggered Re 750, Pf7, silinder 1

Nu Staggered Re 1000, Pf7, silinder 1

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2417.94
-0.006	-0.0014	-13.5	2473.01
-0.0057	-0.0023	-22.5	2416.15
-0.0052	-0.0032	-31.5	2257.03
-0.0047	-0.004	-40.5	2088.99
-0.004	-0.0047	-49.5	2015.64
-0.0032	-0.0052	-58.5	2082.05
-0.0023	-0.0057	-67.5	1988.63
-0.0014	-0.006	-76.5	1722.18
-0.0005	-0.0061	-85.5	1342.74
0.00048	-0.0061	-94.5	942.914
0.00143	-0.006	-103.5	578.328
0.00235	-0.0057	-112.5	270.773
0.0032	-0.0052	-121.5	111.905
0.00398	-0.0047	-130.5	106.137
0.00466	-0.004	-139.5	121.543
0.00523	-0.0032	-148.5	222.994
0.00566	-0.0023	-157.5	340.435
0.00596	-0.0014	-166.5	500.882
0.00611	-0.0005	-175.5	664.2
-0.0061	0.00048	-175.5	2481.92
-0.006	0.00143	13.5	2498.03
-0.0057	0.00235	22.5	2412.81
-0.0052	0.0032	31.5	2240.08
-0.0047	0.00398	40.5	2066.48
-0.004	0.00466	49.5	1986.82
-0.0032	0.00523	58.5	2038.71
-0.0023	0.00566	67.5	1924.81
-0.0014	0.00596	76.5	1635.79
-0.0005	0.00611	85.5	1237.78
0.00048	0.00611	94.5	829.658
0.00143	0.00596	103.5	470.565
0.00235	0.00566	112.5	204.499
0.0032	0.00523	121.5	104.787
0.00398	0.00466	130.5	106.648
0.00466	0.00398	139.5	139.361
0.00523	0.0032	148.5	256.656
0.00566	0.00235	157.5	398.076
0.00596	0.00143	166.5	583.75
0.00611	0.00048	175.5	748.416

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	2938.3
2	-0.006	-0.0014	-13.5	2900.14
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2734.91
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2484.99
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2230.84
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2197.18
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2397.86
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2493.31
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2405.54
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2099.53
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1622.59
12	0.00143	-0.006	-103.5	1065.98
13	0.00235	-0.0057	-112.5	449.2
14	0.0032	-0.0052	-121.5	50.914
15	0.00398	-0.0047	-130.5	161.657
16	0.00466	-0.004	-139.5	244.173
17	0.00523	-0.0032	-148.5	405.563
18	0.00566	-0.0023	-157.5	571.592
19	0.00596	-0.0014	-166.5	786.259
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1006.16
21	-0.0061	0.00048	-175.5	2999.16
22	-0.006	0.00143	13.5	2925.57
23	-0.0057	0.00235	22.5	2735.74
24	-0.0052	0.0032	31.5	2474.94
25	-0.0047	0.00398	40.5	2216.55
26	-0.004	0.00466	49.5	2178.78
27	-0.0032	0.00523	58.5	2368.63
28	-0.0023	0.00566	67.5	2446.48
29	-0.0014	0.00596	76.5	2333.86
30	-0.0005	0.00611	85.5	1998.44
31	0.00048	0.00611	94.5	1493.53
32	0.00143	0.00596	103.5	917.722
33	0.00235	0.00566	112.5	296.104
34	0.0032	0.00523	121.5	90.1561
35	0.00398	0.00466	130.5	233.445
36	0.00466	0.00398	139.5	310.199
37	0.00523	0.0032	148.5	505.656
38	0.00566	0.00235	157.5	723.71
39	0.00596	0.00143	166.5	969.196
40	0.00611	0.00048	175.5	1166.3

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3003.752
2	-0.006	-0.0014	-13.5	2950.688
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2769.389
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2506.72
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2241.612
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2211.856
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2428.649
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2550.128
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2494.173
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2214.577
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1746.478
12	0.00143	-0.006	-103.5	1179.762
13	0.00235	-0.0057	-112.5	507.9434
14	0.0032	-0.0052	-121.5	45.10156
15	0.00398	-0.0047	-130.5	171.9588
16	0.00466	-0.004	-139.5	262.8456
17	0.00523	-0.0032	-148.5	424.7724
18	0.00566	-0.0023	-157.5	591.4774
19	0.00596	-0.0014	-166.5	804.4327
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1026.598
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3062.68
22	-0.006	0.00143	13.5	2975.511
23	-0.0057	0.00235	22.5	2770.643
24	-0.0052	0.0032	31.5	2497.565
25	-0.0047	0.00398	40.5	2228.401
26	-0.004	0.00466	49.5	2194.82
27	-0.0032	0.00523	58.5	2401.406
28	-0.0023	0.00566	67.5	2506.103
29	-0.0014	0.00596	76.5	2425.806
30	-0.0005	0.00611	85.5	2116.149
31	0.00048	0.00611	94.5	1617.525
32	0.00143	0.00596	103.5	1025.888
33	0.00235	0.00566	112.5	328.4397
34	0.0032	0.00523	121.5	96.37694
35	0.00398	0.00466	130.5	259.893
36	0.00466	0.00398	139.5	333.7319
37	0.00523	0.0032	148.5	527.5316
38	0.00566	0.00235	157.5	744.8334
39	0.00596	0.00143	166.5	990.3185
40	0.00611	0.00048	175.5	1188.551

DATA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

Staggered Re 500, Pf7, silinder 3

X	Y	θ	Nu
-0.00611	-0.00048	0.0	2725.914
-0.00596	-0.00143	-13.5	2766.779
-0.00566	-0.00235	-22.5	2667.288
-0.00523	-0.0032	-31.5	2463.197
-0.00466	-0.00398	-40.5	2246.761
-0.00398	-0.00466	-49.5	2176.003
-0.0032	-0.00523	-58.5	2275.73
-0.00235	-0.00566	-67.5	2205.983
-0.00143	-0.00596	-76.5	1927.285
-0.00048	-0.00611	-85.5	1489.539
0.00048	-0.00611	-94.5	1009.588
0.00143	-0.00596	-103.5	571.8853
0.00235	-0.00566	-112.5	234.8945
0.0032	-0.00523	-121.5	140.2445
0.00398	-0.00466	-130.5	151.0304
0.00466	-0.00398	-139.5	130.5794
0.00523	-0.0032	-148.5	212.6277
0.00566	-0.00235	-157.5	291.7903
0.00596	-0.00143	-166.5	408.7297
0.00611	-0.00048	-175.5	547.5006
-0.00611	0.00048	-175.5	2777.451
-0.00596	0.00143	13.5	2755.178
-0.00566	0.00235	22.5	2624.248
-0.00523	0.0032	31.5	2409.921
-0.00466	0.00398	40.5	2194.953
-0.00398	0.00466	49.5	2117.417
-0.0032	0.00523	58.5	2195.064
-0.00235	0.00566	67.5	2095.116
-0.00143	0.00596	76.5	1782.58
-0.00048	0.00611	85.5	1315.735
0.00048	0.00611	94.5	820.5519
0.00143	0.00596	103.5	388.2184
0.00235	0.00566	112.5	146.9449
0.0032	0.00523	121.5	107.4002
0.00398	0.00466	130.5	120.4041
0.00466	0.00398	139.5	143.7913
0.00523	0.0032	148.5	256.9901
0.00566	0.00235	157.5	391.0894
0.00596	0.00143	166.5	555.7362
0.00611	0.00048	175.5	691.796

Nu Staggered Re 750, Pf7, silinder 3

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.00048	0.0	3191.48
2	-0.006	-0.00143	-13.5	3139.37
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2933.82
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2642.82
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	2350.55
6	-0.004	-0.00466	-49.5	2317.67
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2548.94
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2678.95
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2613.21
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	2293.38
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1755.03
12	0.00143	-0.00596	-103.5	1099.43
13	0.00235	-0.00566	-112.5	330.975
14	0.0032	-0.00523	-121.5	180.24
15	0.00398	-0.00466	-130.5	325.421
16	0.00466	-0.00398	-139.5	316.47
17	0.00523	-0.0032	-148.5	470.128
18	0.00566	-0.00235	-157.5	619.064
19	0.00596	-0.00143	-166.5	795.193
20	0.00611	-0.00048	-175.5	941.991
21	-0.0061	0.000482	-175.5	3239.92
22	-0.006	0.001431	13.5	3136.27
23	-0.0057	0.002346	22.5	2906.98
24	-0.0052	0.003204	31.5	2609.61
25	-0.0047	0.003981	40.5	2318.66
26	-0.004	0.004662	49.5	2282.01
27	-0.0032	0.005227	58.5	2497.54
28	-0.0023	0.005664	67.5	2601.97
29	-0.0014	0.005962	76.5	2497.8
30	-0.0005	0.006112	85.5	2124.68
31	0.00048	0.006112	94.5	1525.3
32	0.00143	0.005962	103.5	743.858
33	0.00235	0.005664	112.5	140.417
34	0.0032	0.005227	121.5	253.36
35	0.00398	0.004662	130.5	273.765
36	0.00466	0.003981	139.5	241.898
37	0.00523	0.003204	148.5	399.195
38	0.00566	0.002346	157.5	573.638
39	0.00596	0.001431	166.5	798.321
40	0.00611	0.000482	175.5	1021.5

Nu Staggered Re 1000, Pf7, silinder 3

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	3244.101
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	3177.824
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	2957.738
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2655.665
5	-0.00466	-0.004	-40.5	2354.575
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	2325.37
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2571.194
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2726.101
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2693.156
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	2403.554
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1877.836
12	0.00143	-0.006	-103.5	1212.41
13	0.00235	-0.0057	-112.5	373.4223
14	0.0032	-0.0052	-121.5	197.8204
15	0.00398	-0.0047	-130.5	373.6047
16	0.00466	-0.004	-139.5	367.9709
17	0.00523	-0.0032	-148.5	526.8804
18	0.00566	-0.0023	-157.5	680.6946
19	0.00596	-0.0014	-166.5	856.554
20	0.00611	-0.0005	-175.5	998.5269
21	-0.00611	0.0005	-175.5	3290.906
22	-0.00596	0.0014	13.5	3175.722
23	-0.00566	0.0023	22.5	2933.237
24	-0.00523	0.0032	31.5	2625.204
25	-0.00466	0.004	40.5	2325.283
26	-0.00398	0.0047	49.5	2292.607
27	-0.0032	0.0052	58.5	2523.749
28	-0.00235	0.0057	67.5	2654.471
29	-0.00143	0.006	76.5	2584.163
30	-0.00048	0.0061	85.5	2240.289
31	0.00048	0.0061	94.5	1649.958
32	0.00143	0.006	103.5	835.6224
33	0.00235	0.0057	112.5	158.9943
34	0.0032	0.0052	121.5	314.2187
35	0.00398	0.0047	130.5	332.3952
36	0.00466	0.004	139.5	288.4671
37	0.00523	0.0032	148.5	450.6773
38	0.00566	0.0023	157.5	623.473
39	0.00596	0.0014	166.5	846.2037
40	0.00611	0.0005	175.5	1066.977

DATA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

Staggered Re 500, Pf7, silinder 4

X	Y	θ	Nu
-0.0061	-0.0005	0.0	2843.4
-0.006	-0.0014	-13.5	2820.54
-0.0057	-0.0023	-22.5	2686.2
-0.0052	-0.0032	-31.5	2466.21
-0.0047	-0.004	-40.5	2243.06
-0.004	-0.0047	-49.5	2168.01
-0.0032	-0.0052	-58.5	2256.83
-0.0023	-0.0057	-67.5	2165.89
-0.0014	-0.006	-76.5	1854.06
-0.0005	-0.0061	-85.5	1375.67
0.00048	-0.0061	-94.5	863.144
0.00143	-0.006	-103.5	410.852
0.00235	-0.0057	-112.5	164.42
0.0032	-0.0052	-121.5	141
0.00398	-0.0047	-130.5	144.251
0.00466	-0.004	-139.5	102.382
0.00523	-0.0032	-148.5	176.054
0.00566	-0.0023	-157.5	269.026
0.00596	-0.0014	-166.5	401.238
0.00611	-0.0005	-175.5	541.685
-0.0061	0.00048	-175.5	2795.52
-0.006	0.00143	13.5	2797.22
-0.0057	0.00235	22.5	2681.81
-0.0052	0.0032	31.5	2470.86
-0.0047	0.00398	40.5	2251.51
-0.004	0.00466	49.5	2179.26
-0.0032	0.00523	58.5	2276.09
-0.0023	0.00566	67.5	2201.08
-0.0014	0.00596	76.5	1915.32
-0.0005	0.00611	85.5	1469.84
0.00048	0.00611	94.5	985.57
0.00143	0.00596	103.5	546.34
0.00235	0.00566	112.5	219.902
0.0032	0.00523	121.5	135.862
0.00398	0.00466	130.5	131.708
0.00466	0.00398	139.5	86.4583
0.00523	0.0032	148.5	142.641
0.00566	0.00235	157.5	206.251
0.00596	0.00143	166.5	308.712
0.00611	0.00048	175.5	435.236

Nu Staggered Re 750, Pf7, silinder 4

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3320.24
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3208.35
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2971.19
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2665.57
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2365.79
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2330.42
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2557.59
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2676.71
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2588.76
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2231.91
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1647.3
12	0.00143	-0.006	-103.5	916.495
13	0.00235	-0.0057	-112.5	190.762
14	0.0032	-0.0052	-121.5	145.475
15	0.00398	-0.0047	-130.5	181.054
16	0.00466	-0.004	-139.5	161.355
17	0.00523	-0.0032	-148.5	309.187
18	0.00566	-0.0023	-157.5	497.846
19	0.00596	-0.0014	-166.5	745.074
20	0.00611	-0.0005	-175.5	977.041
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3275.29
22	-0.006	0.00143	13.5	3185.23
23	-0.0057	0.00235	22.5	2964.46
24	-0.0052	0.0032	31.5	2666.29
25	-0.0047	0.00398	40.5	2369.74
26	-0.004	0.00466	49.5	2335.99
27	-0.0032	0.00523	58.5	2587.81
28	-0.0023	0.00566	67.5	2697.05
29	-0.0014	0.00596	76.5	2629.14
30	-0.0005	0.00611	85.5	2307.21
31	0.00048	0.00611	94.5	1769.36
32	0.00143	0.00596	103.5	1121.71
33	0.00235	0.00566	112.5	359.831
34	0.0032	0.00523	121.5	97.9068
35	0.00398	0.00466	130.5	174.465
36	0.00466	0.00398	139.5	127.501
37	0.00523	0.0032	148.5	219.635
38	0.00566	0.00235	157.5	344.321
39	0.00596	0.00143	166.5	548.433
40	0.00611	0.00048	175.5	792.895

Nu Staggered Re 1000, Pf7, silinder 4

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.0005	0.0	3373.055
2	-0.006	-0.0014	-13.5	3249.051
3	-0.0057	-0.0023	-22.5	2998.288
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2681.711
5	-0.0047	-0.004	-40.5	2372.884
6	-0.004	-0.0047	-49.5	2341.396
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2584.23
8	-0.0023	-0.0057	-67.5	2730.127
9	-0.0014	-0.006	-76.5	2677.723
10	-0.0005	-0.0061	-85.5	2354.449
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1785.167
12	0.00143	-0.006	-103.5	1049.011
13	0.00235	-0.0057	-112.5	230.4572
14	0.0032	-0.0052	-121.5	133.7745
15	0.00398	-0.0047	-130.5	187.3996
16	0.00466	-0.004	-139.5	180.6914
17	0.00523	-0.0032	-148.5	344.9232
18	0.00566	-0.0023	-157.5	552.1602
19	0.00596	-0.0014	-166.5	812.2367
20	0.00611	-0.0005	-175.5	1049.263
21	-0.0061	0.00048	-175.5	3329.571
22	-0.006	0.00143	13.5	3226.488
23	-0.0057	0.00235	22.5	2991.355
24	-0.0052	0.0032	31.5	2681.879
25	-0.0047	0.00398	40.5	2376.153
26	-0.004	0.00466	49.5	2346.122
27	-0.0032	0.00523	58.5	2593.044
28	-0.0023	0.00566	67.5	2747.923
29	-0.0014	0.00596	76.5	2713.751
30	-0.0005	0.00611	85.5	2423.292
31	0.00048	0.00611	94.5	1899.944
32	0.00143	0.00596	103.5	1245.69
33	0.00235	0.00566	112.5	420.7585
34	0.0032	0.00523	121.5	85.69827
35	0.00398	0.00466	130.5	177.8069
36	0.00466	0.00398	139.5	135.3509
37	0.00523	0.0032	148.5	237.9058
38	0.00566	0.00235	157.5	380.0274
39	0.00596	0.00143	166.5	604.0234
40	0.00611	0.00048	175.5	862.472

ipiran B-1

TA ANGKA NUSSELT SUSUNAN STAGGERED (NUMERIK)

taggered Re 500, Pf7, silinder 5

X	Y	θ	Nu
-0.00611	-0.00048	0.0	1321.914
-0.00596	-0.00143	-13.5	1844.083
-0.00566	-0.00235	-22.5	2028.175
-0.00523	-0.0032	-31.5	1973.046
-0.00466	-0.00398	-40.5	1888.768
-0.00398	-0.00466	-49.5	1857.966
-0.0032	-0.00523	-58.5	1942.631
-0.00235	-0.00566	-67.5	1868.27
-0.00143	-0.00596	-76.5	1620.076
-0.00048	-0.00611	-85.5	1263.571
0.00048	-0.00611	-94.5	896.1789
0.00143	-0.00596	-103.5	572.9476
0.00235	-0.00566	-112.5	305.3645
0.0032	-0.00523	-121.5	141.0209
0.00398	-0.00466	-130.5	91.48183
0.00466	-0.00398	-139.5	41.75548
0.00523	-0.0032	-148.5	92.90909
0.00566	-0.00235	-157.5	183.8226
0.00596	-0.00143	-166.5	308.1096
0.00611	-0.00048	-175.5	458.9424
-0.00611	0.00048	-175.5	887.3748
-0.00596	0.00143	13.5	949.7036
-0.00566	0.00235	22.5	1257.81
-0.00523	0.0032	31.5	1405.762
-0.00466	0.00398	40.5	1470.174
-0.00398	0.00466	49.5	1462.725
-0.0032	0.00523	58.5	1510.256
-0.00235	0.00566	67.5	1421.926
-0.00143	0.00596	76.5	1211.837
-0.00048	0.00611	85.5	940.8175
0.00048	0.00611	94.5	671.7715
0.00143	0.00596	103.5	431.3045
0.00235	0.00566	112.5	230.312
0.0032	0.00523	121.5	112.9208
0.00398	0.00466	130.5	77.79896
0.00466	0.00398	139.5	59.74022
0.00523	0.0032	148.5	142.9909
0.00566	0.00235	157.5	255.3572
0.00596	0.00143	166.5	404.7087
0.00611	0.00048	175.5	550.4271

Nu Staggered Re 750, Pf7, silinder 5

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.0061	-0.00048	0.0	2212.39
2	-0.006	-0.00143	-13.5	2623.17
3	-0.0057	-0.00235	-22.5	2621.8
4	-0.0052	-0.0032	-31.5	2420.5
5	-0.0047	-0.00398	-40.5	2210.21
6	-0.004	-0.00466	-49.5	2203.62
7	-0.0032	-0.00523	-58.5	2432.54
8	-0.0023	-0.00566	-67.5	2557.66
9	-0.0014	-0.00596	-76.5	2491.64
10	-0.0005	-0.00611	-85.5	2188.58
11	0.00048	-0.00611	-94.5	1697.93
12	0.00143	-0.00596	-103.5	1125.4
13	0.00235	-0.00566	-112.5	526.893
14	0.0032	-0.00523	-121.5	78.7259
15	0.00398	-0.00466	-130.5	44.359
16	0.00466	-0.00398	-139.5	61.874
17	0.00523	-0.0032	-148.5	183.168
18	0.00566	-0.00235	-157.5	347.616
19	0.00596	-0.00143	-166.5	565.556
20	0.00611	-0.00048	-175.5	798.353
21	-0.0061	0.000482	-175.5	1465.53
22	-0.006	0.001431	13.5	1254.95
23	-0.0057	0.002346	22.5	1569.27
24	-0.0052	0.003204	31.5	1701.73
25	-0.0047	0.003981	40.5	1700.48
26	-0.004	0.004662	49.5	1719.29
27	-0.0032	0.005227	58.5	1866.94
28	-0.0023	0.005664	67.5	1902.67
29	-0.0014	0.005962	76.5	1782.05
30	-0.0005	0.006112	85.5	1502.44
31	0.00048	0.006112	94.5	1119.94
32	0.00143	0.005962	103.5	705.411
33	0.00235	0.005664	112.5	279.399
34	0.0032	0.005227	121.5	56.6609
35	0.00398	0.004662	130.5	101.493
36	0.00466	0.003981	139.5	159.954
37	0.00523	0.003204	148.5	322.603
38	0.00566	0.002346	157.5	514.075
39	0.00596	0.001431	166.5	747.227
40	0.00611	0.000482	175.5	947.599

Nu Staggered Re 1000, Pf7, silinder 5

No	X	Y	θ	Nu
1	-0.00611	-0.0005	0.0	2419.734
2	-0.00596	-0.0014	-13.5	2782.433
3	-0.00566	-0.0023	-22.5	2739.612
4	-0.00523	-0.0032	-31.5	2511.891
5	-0.00466	-0.004	-40.5	2275.986
6	-0.00398	-0.0047	-49.5	2270.052
7	-0.0032	-0.0052	-58.5	2521.874
8	-0.00235	-0.0057	-67.5	2681.493
9	-0.00143	-0.006	-76.5	2655.51
10	-0.00048	-0.0061	-85.5	2382.285
11	0.00048	-0.0061	-94.5	1894.165
12	0.00143	-0.006	-103.5	1293.377
13	0.00235	-0.0057	-112.5	635.7209
14	0.0032	-0.0052	-121.5	84.97707
15	0.00398	-0.0047	-130.5	34.60399
16	0.00466	-0.004	-139.5	65.99073
17	0.00523	-0.0032	-148.5	209.1592
18	0.00566	-0.0023	-157.5	390.1283
19	0.00596	-0.0014	-166.5	624.5216
20	0.00611	-0.0005	-175.5	865.6935
21	-0.00611	0.0005	-175.5	1669.733
22	-0.00596	0.0014	13.5	1449.006
23	-0.00566	0.0023	22.5	1726.211
24	-0.00523	0.0032	31.5	1820.06
25	-0.00466	0.004	40.5	1781.895
26	-0.00398	0.0047	49.5	1800.364
27	-0.0032	0.0052	58.5	1970.21
28	-0.00235	0.0057	67.5	2035.436
29	-0.00143	0.006	76.5	1941.203
30	-0.00048	0.0061	85.5	1670.339
31	0.00048	0.0061	94.5	1271.02
32	0.00143	0.006	103.5	818.0606
33	0.00235	0.0057	112.5	324.3581
34	0.0032	0.0052	121.5	49.75699
35	0.00398	0.0047	130.5	114.9337
36	0.00466	0.004	139.5	183.3517
37	0.00523	0.0032	148.5	357.0386
38	0.00566	0.0023	157.5	562.9412
39	0.00596	0.0014	166.5	807.1183
40	0.00611	0.0005	175.5	1015.134

Tabel Hasil Perhitungan (Eksperimental)

Penukar Panas dengan Pf = 7 mm (Staggered)

Re	T _b	T _f	T _{uo}	T _{ui}	ΔT	T _u rerata	T _f - T _∞	T _b - T _∞	T _{ex}
500	102.49	92.9238	70.35	26	44.35	48.18	44.75	54.31	93.70
750	83.79	75.5095	58.15	26	32.15	42.08	33.43	41.72	76.18
1000	75.90	67.1714	53.25	26	27.25	39.63	27.55	36.28	67.88

Re	m	q	q''	h	η _f	η _o	S _t	j _H	Lc ^{3/2} (hkAp) ^{1/2}
	kg/s	W	W/m ²	W/m ² .K					
500	0.0040	180.486	808.09	17.7519	0.824	0.838	0.0249	0.01968	0.0669554
750	0.0062	199.642	893.86	26.2099	0.801	0.817	0.0241	0.01905	0.0988569
1000	0.0083	227.536	1018.75	34.1572	0.759	0.779	0.0233	0.01847	0.1288321

Penukar Panas dengan Pf = 5 mm (Staggered)

Re	T _b	T _f	T _{uo}	T _{ui}	ΔT	T _u rerata	T _f - T _∞	T _b - T _∞	T _{ex}
500	86.89	76.96	62.41	26	36.41	44.21	32.76	42.69	77.46
750	76.94	67.84	54.92	26	28.92	40.46	27.38	36.48	68.30
1000	69.96	60.74	49.97	26	23.97	37.99	22.75	31.98	61.21

Re	m	q	q''	h	η _f	η _o	S _t	j _H	Lc ^{3/2} (hkAp) ^{1/2}
	kg/s	W	W/m ²	W/m ² .K					
500	0.0068	250.354	723.65	21.7596	0.767	0.779	0.0175	0.01383	0.0820716
750	0.0104	302.582	874.62	31.4163	0.751	0.763	0.0166	0.01313	0.1184938
1000	0.0139	335.731	970.44	41.7918	0.712	0.726	0.0165	0.01305	0.1576276

Penukar Panas dengan Pf = 3 mm (Staggered)

Re	T _b	T _f	T _{uo}	T _{ui}	ΔT	T _u rerata	T _f - T _∞	T _b - T _∞	T _{ex}
500	75.61	62.61	56.62	26	30.62	41.31	21.30	34.30	63.10
750	66.52	53.94	49.13	26	23.13	37.56	16.38	28.96	54.42
1000	57.01	46.6697	44.87	26	18.87	35.44	11.23	21.57	47.06

Re	m	q	q''	h	η _f	η _o	S _t	j _H	Lc ^{3/2} (hkAp) ^{1/2}
	kg/s	W	W/m ²	W/m ² .K					
500	0.0092	282.455	630.25	28.9182	0.621	0.635	0.0168	0.01333	0.1090717
750	0.0138	322.214	718.96	42.6603	0.566	0.582	0.0164	0.01303	0.1609035
1000	0.0186	354.148	790.22	57.3648	0.521	0.539	0.0164	0.01301	0.2163647

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN (Eksperimen, Aligned)

$P_f = 3 \text{ mm}$

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.010586 \text{ m}^2$ $A_f/A_t = 0.9717$
 $T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{fr}(\sigma) = 0.9$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.0054 \text{ m}^2$ $A_f/V_f(\alpha) = 623.667 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 $N_f = 20$ $A_{fr} = 0.006 \text{ m}^2$
 $P_f = 0.003 \text{ m}$ $A_t = 0.3742 \text{ m}^2$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_t = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P = 3.9026 \text{ m}$
 $D_h = 0.005534 \text{ m}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T_{b1}	T_{b2}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{ui}	ΔT	T_{∞}	$T_f - T_{\infty}$	$T_b - T_{\infty}$
500	72.87	86.04	79.46	68.28	55.88	26.00	29.88	40.94	27.33	38.51
750	63.97	76.60	70.28	60.16	48.85	26.00	22.85	37.43	22.73	32.86
1000	57.88	71.84	64.86	55.26	44.93	26.00	18.93	35.47	19.79	29.40

TABEL DATA PROPERTI (Tabel A4)

Re	T_{∞}	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	313.942	1.080	1007.977	0.704
750	310.425	1.099	1007.745	0.704
1000	308.467	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{fr}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	1.5000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0097	292.8094	782.5236	68.5913	28.3014	0.7097	0.7179	0.0156	0.0123
750	2.2000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0145	334.1791	893.0829	60.4448	38.7963	0.6919	0.7006	0.0143	0.0113
1000	2.9000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0193	368.8507	985.7417	55.5301	49.1313	0.6732	0.6825	0.0136	0.0108

Lampiran Tabel Suhu, Properties, dan Perhitungan

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN (Eksperimen, Aligned)

$P_f = 5 \text{ mm}$

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.0110564 \text{ m}^2$ $A_f/A_t = 0.95175$
 $T_f = Lf = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{ff}(\sigma) = 0.94$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.00564 \text{ m}^2$ $A_t/V_t(\alpha) = 382.033 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 $N_f = 12$ $A_{ff} = 0.006 \text{ m}^2$
 $P_f = 0.005 \text{ m}$ $A_t = 0.22922 \text{ m}^2$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_t = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P = 2.3034 \text{ m}$
 $D_b = 0.009794 \text{ m}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T_{b1}	T_{b2}	T_b	T_f	T_{∞}	T_{ui}	ΔT	T_{∞}	$T_f - T_{\infty}$	$T_b - T_{\infty}$
500	87.32	104.62	95.97	83.94	70.17	26.00	44.17	48.08	35.86	47.89
750	77.67	92.13	84.90	74.17	59.37	26.00	33.37	42.68	31.48	42.22
1000	69.82	81.71	75.76	66.31	51.98	26.00	25.98	38.99	27.32	36.77

TABEL DATA PROPRTI (Tabel A4)

Re	T_{∞}	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	321.083	1.080	1007.977	0.704
750	315.683	1.099	1007.745	0.704
1000	311.992	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{ff}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	0.7500	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0049	216.3817	944.0063	84.5218	25.9068	0.7488	0.7609	0.0298	0.0236
750	1.1000	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0073	243.9922	1064.4622	74.6844	33.2633	0.7458	0.7580	0.0257	0.0203
1000	1.5000	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0100	261.8253	1142.2627	66.7644	41.1289	0.7429	0.7553	0.0230	0.0182

Lampiran Tabel Suhu, Properties, dan Perhitungan

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN (Eksperimen, Aligned)

$P_f = 7 \text{ mm}$

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.01117 \text{ m}^2$ $A_f/A_t = 0.9421$
 $T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{fr}(\sigma) = 0.95$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.0057 \text{ m}^2$ $A_f/V_f(\alpha) = 321.617 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 $N_f = 10$ $A_{fr} = 0.006 \text{ m}^2$
 $P_f = 0.007 \text{ m}$ $A_t = 0.19297 \text{ m}^2$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_f = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P = 1.9206 \text{ m}$
 $D_h = 0.01187 \text{ m}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T_{b1}	T_{b2}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{ui}	ΔT	T_∞	$T_f - T_\infty$	$T_b - T_\infty$
500	99.53	115.51	107.52	96.88	75.87	26.00	49.87	50.93	45.94	56.59
750	91.15	106.51	98.83	87.68	64.25	26.00	38.25	45.13	42.55	53.71
1000	83.80	98.11	90.96	80.05	57.18	26.00	31.18	41.59	38.46	49.36

TABEL DATA PROPRTI (Tabel A4)

Re	T_∞	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	323.933	1.080	1007.977	0.704
750	318.125	1.099	1007.745	0.704
1000	314.592	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{fr}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f * A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	0.6000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0039	195.4458	1012.8299	97.4913	21.7542	0.8118	0.8227	0.0316	0.0250
750	0.9000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0059	228.8466	1185.9178	88.3207	27.4545	0.7923	0.8043	0.0262	0.0207
1000	1.2000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0080	251.3792	1302.6854	80.6813	33.3256	0.7791	0.7919	0.0236	0.0187

P_f = 3 mm (Aligned , Numerik)

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.010586 \text{ m}^2$ $A_p/A_t = 0.9717$
 $T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{fr}(\sigma) = 0.9$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.0054 \text{ m}^2$ $A_f/V_t(\alpha) = 623.667 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 $N_f = 20$ $A_{fr} = 0.006 \text{ m}^2$
 $P_f = 0.003 \text{ m}$ $A_t = 0.3742 \text{ m}^2$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_t = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P = 3.9026 \text{ m}$
 $D_h = 0.005534 \text{ r}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T _{b1}	T _{b2}	T _b	T _f	T _{uo}	T _{ul}	ΔT	T _∞	T _f - T _∞	T _b - T _∞
500	101.86	120.77	111.32	95.15	52.63	26.00	26.63	39.31	55.84	72.00
750	88.72	104.02	96.37	81.34	44.42	26.00	18.42	35.21	46.13	61.16
1000	81.23	94.52	87.87	74.76	40.36	26.00	14.36	33.18	41.58	54.70

TABEL DATA PROPERTI (Tabel A4)

Re	T _∞	ρ	C _p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	312.313	1.080	1007.977	0.704
750	308.210	1.099	1007.745	0.704
1000	306.179	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A _{fr}	A _{ff}	A _b	A _f	N _f *A _f	A _t	m	q	q"	T _{ex}	h	η _f	η _o	St	J _H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	1.5000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0097	126.0000	4458.5987	95.6072	79.2017	0.7755	0.7818	0.0436	0.0345
750	2.2000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0145	126.0000	4458.5987	81.7617	95.7776	0.7542	0.7612	0.0354	0.0280
1000	2.9000	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.3636	0.3742	0.0193	126.0000	4458.5987	75.1339	106.2703	0.7466	0.7538	0.0295	0.0233

$P_f = 5 \text{ mm}$ (Aligned, Numerik)

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.0110564 \text{ m}^2$ $A_f/A_t = 0.95175$

$T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{fr}(\sigma) = 0.94$

$t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.00564 \text{ m}^2$ $A_f/V_t(\alpha) = 382.033 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 3 5 7

$N_f = 12$ $A_{fr} = 0.006 \text{ m}^2$

$P_f = 0.005 \text{ m}$ $A_t = 0.22922 \text{ m}^2$

$P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_t = 0.0006 \text{ m}^3$

$P = 2.3034 \text{ m}$

$D_h = 0.009794 \text{ r}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T_{b1}	T_{b2}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{ul}	ΔT	T_∞	$T_f - T_\infty$	$T_b - T_\infty$
500	136.75	164.90	150.82	133.80	78.93	26.00	52.93	52.46	81.33	98.36
750	115.29	138.00	126.64	111.13	62.30	26.00	36.30	44.15	66.98	82.49
1000	101.83	120.76	111.30	96.75	52.63	26.00	26.63	39.31	57.44	71.98

TABEL DATA PROPERTI (Tabel A4)

Re	T_∞	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	325.463	1.080	1007.977	0.704
750	317.152	1.099	1007.745	0.704
1000	312.313	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{fr}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f^2 A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	0.7500	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0049	126.0000	4458.5987	134.6173	54.2708	0.8269	0.8352	0.0625	0.0494
750	1.1000	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0073	126.0000	4458.5987	111.8765	65.8342	0.8119	0.8210	0.0508	0.0402
1000	1.5000	0.0060	0.0056	0.0111	0.0182	0.2182	0.2292	0.0100	126.0000	4458.5987	97.4529	76.6874	0.7979	0.8077	0.0429	0.0340

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN

$P_f = 7 \text{ mm}$ (Aligned, Numerik)

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0156 \text{ m}$ $A_b = 0.01117 \text{ m}^2$ $A_f/A_t = 0.9421$
 $T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.01818 \text{ m}^2$ $A_{ff}/A_{fr}(\sigma) = 0.95$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.0057 \text{ m}^2$ $A_f/V_t(\alpha) = 321.617 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 $N_f = 1$ $A_{fr} = 0.006 \text{ m}^2$
 $P_f = 0.007 \text{ m}$ $A_t = 0.19297 \text{ m}^2$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $V_t = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P = 1.9206 \text{ m}$
 $D_h = 0.01187 \text{ m}$

TABEL SUHU

Re	Suhu (°C)									
	T_{b1}	T_{b2}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{ui}	ΔT	T_∞	$T_f - T_\infty$	$T_b - T_\infty$
500	152.08	183.71	167.89	149.92	91.67	26.00	65.67	58.84	91.08	109.06
750	125.88	151.27	138.57	122.27	70.25	26.00	44.25	48.13	74.14	90.45
1000	111.27	132.77	122.02	115.92	59.29	26.00	33.29	42.65	73.27	79.38

TABEL DATA PROPERTI (Tabel A4)

Re	T_∞	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	331.835	1.080	1007.977	0.704
750	321.127	1.099	1007.745	0.704
1000	315.645	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{fr}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_b	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	0.6000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0039	126.0000	4458.5987	150.9587	48.3981	0.8352	0.8447	0.0704	0.0557
750	0.9000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0059	126.0000	4458.5987	123.2100	59.3823	0.8197	0.8301	0.0566	0.0448
1000	1.2000	0.0060	0.0057	0.0112	0.0182	0.1818	0.1930	0.0080	126.0000	4458.5987	116.2702	60.5582	0.8065	0.8177	0.0428	0.0339

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN

$P_f = 3 \text{ mm (Staggered)}$

DATA BENDA UJI :

$L_c = 0.056 \text{ m}$
 $D_t = 0.0126 \text{ m}$ $A_b = 0.0170357 \text{ m}^2$ $A_p = 0.001608 \text{ m}^2$
 $T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$ $A_f = 0.43113 \text{ m}^2$ $k = 177 \text{ W/m.K}$
 $t_f = 0.0003 \text{ m}$ $A_{ff} = 0.00537 \text{ m}^2$
 $N_f = 1$ $A_{ff}/A_f(\sigma) = 0.0895$
 $P_f = 0.003 \text{ m}$ $V_{tot} = 0.0006 \text{ m}^3$
 $P_b = 0.06 \text{ m}$ $A_{tot}/V_{tot}(\alpha) = 746.9428 \text{ m}^2/\text{m}$
 $P = 4.012 \text{ m}$ $A_f/A_{tot} = 0.961988$
 $D_h = 0.005354 \text{ m}$ 0.0054

Re	Suhu (°C)											
	T_{b1}	T_{b2}	T_{b3}	T_{b4}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{uf}	ΔT	T_∞	$T_f - T_\infty$	$T_b - T_\infty$
500	70.53	73.59	75.41	85.76	76.32	73.09	50.40	26.00	24.40	38.20	34.89	38.13
750	56.94	58.86	60.43	67.87	61.02	57.83	39.30	26.00	13.30	32.65	25.18	28.37
1000	55.40	57.16	58.59	65.58	59.19	55.97	38.12	26.00	12.12	32.06	23.91	27.13



TABEL DATA PROPERTI (Tabel A4)

Re	T_∞	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	311.199	1.080	1007.977	0.704
750	305.648	1.099	1007.745	0.704
1000	305.060	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{ff}	A_f	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	1.37	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0089	126.0000	2523.1286	81.9534	45.0934	0.6387	0.7717	0.0272	0.0215
750	2.05	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0135	126.0000	2523.1286	65.1274	64.4849	0.4072	0.6254	0.0256	0.0202
1000	2.74	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0183	126.0000	2523.1286	63.0087	68.1766	0.3780	0.6069	0.0200	0.0158

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN

$P_f = 5 \text{ mm (Staggered)}$

DATA BENDA UJI :

$D_t = 0.0126 \text{ m}$	$A_b = 0.017478 \text{ m}^2$	$L_c = 0.056 \text{ m}$
$T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$	$A_f = 0.32848 \text{ m}^2$	$A_p = 0.001608 \text{ m}^2$
$t_f = 0.0003 \text{ m}$	$A_{ff} = 0.00552 \text{ m}^2$	$k = 177 \text{ W/m.K}$
$N_f = 1$	$A_{ff}/A_f(\sigma) = 0.92$	
$P_f = 0.005 \text{ m}$	$V_{tot} = 0.0006 \text{ m}^3$	
$P_b = 0.06 \text{ m}$	$A_{tot}/V_{tot}(\alpha) = 576.5967 \text{ m}^2/\text{m}^3$	
$P = 3,111 \text{ m}$	$A_f/A_{tot} = 0.949479$	
$D_h = 0.0070974 \text{ m}$	$r = 0.0055$	

Re	Suhu (°C)											
	T_{b1}	T_{b2}	T_{b3}	T_{b4}	T_b	T_f	T_{up}	T_{ud}	ΔT	T_{∞}	$T_f - T_{\infty}$	$T_b - T_{\infty}$
500	79.13	82.86	84.81	96.50	85.83	82.55	57.20	26.00	31.20	41.60	40.94	44.22
750	67.28	70.09	71.79	81.63	72.69	69.45	47.81	26.00	21.81	36.90	32.55	35.79
1000	60.73	63.03	64.55	73.04	65.34	62.14	42.32	26.00	16.32	34.16	27.98	31.18

TABEL DATA PROPRTI (Tabel A4)

Re	T_{∞}	ρ	C_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	314.601	1.080	1007.977	0.704
750	309.904	1.099	1007.745	0.704
1000	307.159	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{ff}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{est}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	1.37	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0089	126.0000	2523.1286	92.1966	38.1157	0.7500	0.8420	0.0230	0.0182
750	2.05	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0135	126.0000	2523.1286	78.0067	48.5155	0.5909	0.7415	0.0192	0.0152
1000	2.74	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0183	126.0000	2523.1286	69.9145	57.4555	0.4777	0.6699	0.0169	0.0134

TABEL SUHU, PROPERTIS, DAN PERHITUNGAN

$P_f = 7 \text{ mm (Staggered)}$

DATA BENDA UJI :

$D_{to} = 0.0126 \text{ m}$	$A_b = 0.01804848 \text{ m}^2$	$L_c = 0.056 \text{ m}$
$T_f = L_f = 0.1 \text{ m}$	$A_f = 0.2053 \text{ m}^2$	$A_p = 0.001608 \text{ m}^2$
$t_f = 0.0003 \text{ m}$	$A_{ff} = 0.0057 \text{ m}^2$	$k = 177 \text{ W/m.K}$
$N_f = 1$	$A_{ff}/A_f(\sigma) = 0.95$	
$P_f = 0.007 \text{ m}$	$V_{tot} = 0.0006 \text{ m}^3$	
$P_b = 0.06 \text{ m}$	$A_{tot}/V_{tot}(\alpha) = 372.24747 \text{ m}^2$	
$P = 1,9206 \text{ m}$	$A_f/A_t = 0.9191914$	
$D_h = 0.001187 \text{ m}$	0.0057	

Re	Suhu (°C)											
	T_{b1}	T_{b2}	T_{b3}	T_{b4}	T_b	T_f	T_{uo}	T_{uf}	ΔT	T_∞	$T_f - T_\infty$	$T_b - T_\infty$
500	98.92	103.89	106.16	119.87	107.21	103.86	72.12	26.00	46.12	49.06	54.81	58.15
750	82.85	86.76	88.77	100.78	89.79	86.47	59.80	26.00	33.80	42.90	43.57	46.89
1000	73.52	76.82	78.65	85.55	78.64	76.37	52.70	26.00	26.70	39.35	37.02	39.28

TABEL DATA PROPRTI (Tabel A4)

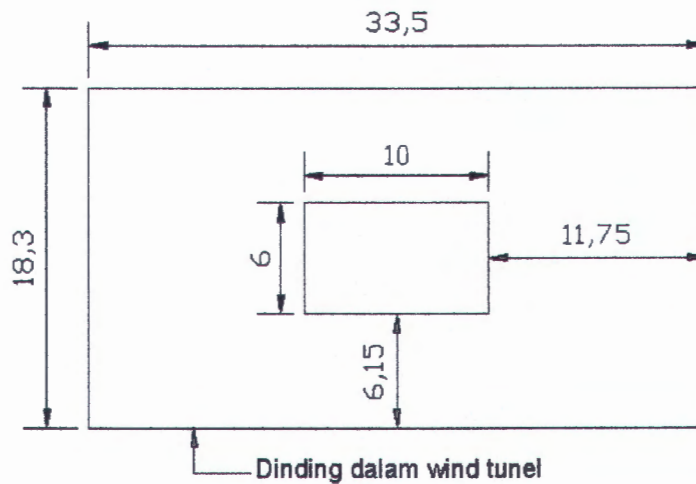
Re	T_∞	ρ	c_p	Pr
	K	kg/m ³	J/kg.K	
500	322.059	1.080	1007.977	0.704
750	315.898	1.099	1007.745	0.704
1000	312.352	1.111	1007.604	0.705

TABEL PERHITUNGAN

Re	v	A_{ff}	A_{ff}	A_b	A_f	$N_f \cdot A_f$	A_t	m	q	q''	T_{ex}	h	η_f	η_o	St	J_H
	m/s	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kg/s	W	W/m ²	K	W/m ² .K				
500	1.37	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0089	126.0000	2523.1286	114.8241	28.4059	0.9400	0.9621	0.0171	0.0136
750	2.05	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0135	126.0000	2523.1286	96.3635	35.8585	0.7878	0.8659	0.0142	0.0112
1000	2.74	0.0060	0.0054	0.0106	0.0182	0.0182	0.0288	0.0183	126.0000	2523.1286	83.0118	44.2562	0.6786	0.7969	0.0130	0.0103

▪ **Perkembangan Boundary Layer di Dalam Wind Tunnel**

Posisi benda uji didalam saluran uji ditunjukkan gambar sebagai berikut:



Perkembangan boundary layer didalam saluran yang berbentuk segi empat (plat datar) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{5 \cdot x}{\sqrt{Re_x}}$$

dimana: δ = ketebalan boundary layer

x = jarak benda uji dari ujung masuk wind tunnel

Re_x = angka Reynold pada jarak x

Pada penelitian ini posisi benda uji terletak sejauh 20 cm, sedangkan angka Reynold pada jarak tersebut adalah sama dengan saat masuk wind tunnel yaitu 500, sehingga didapatkan:

$$\delta = \frac{5 \cdot 0,2}{\sqrt{500}} = 0,0447 \text{ m} = 4,47 \text{ cm}$$

Apabila dilihat dari letak benda uji dimana jarak terdekat benda uji dengan dinding dalam wind tunnel adalah 6,15 cm jadi masih belum terpengaruh adanya boundary layer (kecepatan masuk benda uji sama dengan kecepatan saat masuk wind tunnel).

Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids

Metal Alloys	Properties at 20°C (293 K)				Thermal Conductivity k (W/m.K)						
	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.K)	k (W/m.K)	α (cm ² /s)	-100°C (173 K)	0°C (273 K)	100°C (373 K)	200°C (473 K)	400°C (673 K)	600°C (873 K)	1000°C (1273 K)
Aluminium											
Pure	2707	0.896	204	0.842	215	202	205	215	249		
Duralumin (94-96% Al, 3-5% Cu, trace Mg)	2787	0.883	164	0.667	126	159	182	194			
Silumin (87% Al, 13% Si)	2659	0.871	164	0.71	149	163	175	185			
Antimony	6690	0.208	17.4	0.125	19.2	17.7	16.3	16	17.2		
Beryllium	1850	1.750	167	0.516	126	160	191	215			
Bismuth, polycrystalline	9780	0.124	7.9	0.065	12.1	8.4	7.2	7.2			
Cadmium, polycrystalline	8650	0.231	92.8	0.464	97	93	92	91			
Cesium	1873	0.230	36	0.836							
Chromium	7190	0.453	90	0.276	120	95	88	85	77		
Cobalt (97.1% Co) polycrystalline	8900	0.389	70	0.202							
Copper											
Pure	8954	0.384	398	1.16	420	401	391	389	378	366	336
Commercial	8300	0.419	372	1.07							
Aluminium Bronze (95% Cu, 5% Al)	8666	0.410	83	0.233							
Brass (70% Cu, 30% Zn)	8522	0.385	111	0.341	88		128	144	147		
Brass (60% Cu, 40% Zn)	8400	0.376	113	0.358							
Bronze (75% Cu, 25% Sn)	8666	0.343	26	0.086							
Bronze (85% Cu, 6% Sn, 9% Zn, 1% Pb)	8800	0.377	61.7	0.186							

Sumber : Tabel A - 1 Heat Transfer, Adrian Bejan

**Thermophysical Properties
of Gasses at Atmospheric Pressure**

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.K)	$\mu \cdot 10^7$ (N.s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m.K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.10	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.59	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.995	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.774	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.8	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1050	0.3155	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728

Sumber : Tabel A-4 *Fundamental Heat and Mass Transfer*, Frank P. Incropera