

Simulasi Numerik Pengaruh Penambahan Pengarah Aliran Udara Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Udara Melintasi Susunan Tabung Eliptik

Budi Suharto^{1,2}, Budi Utomo^{1,3}, Samsul Kamal¹, Fauzun¹

¹Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Telp dan Fax. (0274) 521673

²Jurusan Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

³Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh November

Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Kampus ITS Keputih – Sukolilo. Surabaya 60111. Phone No. (031) 594
6230. Fax No. (031) 592 2941

budi.suharto@yahoo.com, buditem@yahoo.com, samsulugm@yahoo.com, fauzun71@yahoo.com

Abstrak

Perangkat penukar panas sangat penting peranannya dalam sistem konversi energi, sehingga perlu dilakukan perancangan untuk mendapatkan kinerja yang optimal. Salah satu parameter utama dari kinerja penukar panas adalah koefisien perpindahan panas konveksi (KPPK). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan KPPK terbaik dari sebuah penukar panas yang menggunakan fluida kerja udara melalui permukaan penukar panas tembaga berbentuk sinder eliptik yang panjangnya 32 mm dengan diameter ekuivalen lingkaran 19,05 mm serta variasi rasio sumbu 2,0. Untuk itu maka dalam penelitian ini aliran udara yang melalui permukaan elip diarahkan sedemikian rupa oleh suatu pengarah ke permukaan elip yang melepaskan fluks panas 3718 W/m² konstan dan seragam sehingga perpindahan panas konveksi meningkat. Bentuk pengarah yang dilakukan dalam penelitian ini mempunyai penampang berbentuk plat potongan elips. Kajian dilakukan melalui proses simulasi numerik menggunakan perangkat lunak komersial Fluent versi 6.3.26 pada kondisi aliran yang melalui elip tanpa pengarah dan dengan pengarah, bilangan Reynolds aliran udara terhadap sumbu utama elip dalam rentang 1700 sampai dengan 17500. Hasil simulasi numerik didapatkan nilai KPPK rata-rata tiap elip meningkat.

Kata kunci : Simulasi Numerik, Fluent, Koefisien koveksi, Susunan Tabung elip.

1. PENDAHULUAN

Perangkat penukar panas sangat penting peranannya dalam sistem konversi energi. Sehingga perlu dilakukan perancangan untuk memaksimalkan kinerja penukar panas. Parameter utama dari kinerja penukar panas adalah koefisien perpindahan panas konveksi (KPPK). Berbagai penelitian mutakhir yang telah dilakukan, diantaranya S.A. Johnson *et al* (2001), R.S.Matos *et al* (2003) dan Zakir Faruquee *et al* (2007) mengindikasikan sejumlah keistimewaan pemakaian buluh bertampang eliptik dari pada yang berpenampang lingkaran. Peneliti masih melihat peluang untuk meningkatkan lagi kinerja tersebut dengan cara menambahkan pengarah aliran udara

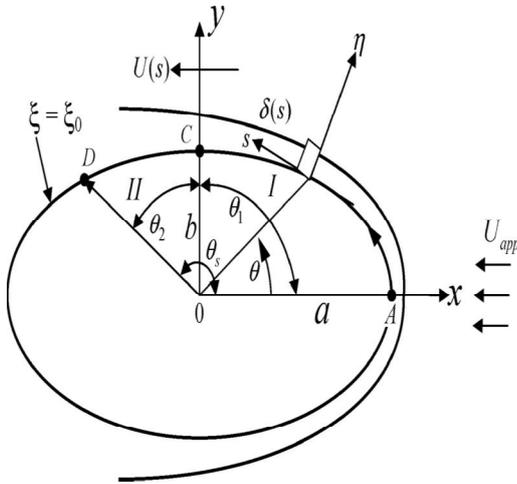
pada tiap tabung elip tersebut agar kecepatan sekitar dinding elip meningkat. penelitian ini dibuat secara numerik dengan menggunakan perangkat lunak Fluent versi 6.3.26.

Notasi

A	=	luas penampang, m ²
C	=	konstanta
N _u	=	Bilangan Nusselt
h	=	koefisien perpindahan panas konveksi, W/m ² K
u	=	kecepatan tangensial permukaan elip, m/s
\bar{u}	=	kecepatan rata – rata turbulensi, m/s
u'	=	kecepatan fluktuasi turbulensi, m/s
v	=	kecepatan normal permukaan elip, m/s
S	=	jarak busur diukur dari titik stagnasi, m
S_{ϕ}	=	sumber ϕ tiap satuan volume
η	=	jarak normal dari permukaan elip, m
ρ	=	densitas, kg/m ³
P	=	tekanan Pa

- T = suhu K
- \bar{T} = suhu rata – rata turbulensi
- T' = suhu fluktuasi turbulensi
- α = difusivitas termal m²/s
- = factor relaksasi
- k = konduktivitas termal, W/mK
- = energi kinetic turbulen
- ϵ = laju disipasi
- t = waktu, s
- V = volume sel, m³

2. LANDASAN TEORI



Gambar 1. Aliran fluida melintasi tabung eliptik[4]

Dalam menyelesaikan persoalan penelitian ini peneliti menggunakan beberapa persamaan yang terangkum dalam persamaan atur.

Persamaan Atur

Hukum kekekalan massa dapat dinyatakan sebagai Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas Untuk Aliran Laminar ;

$$\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial \eta} = 0 \tag{1}$$

Untuk Aliran Turbulen ;

$$\frac{\partial}{\partial s}(\bar{u} + u') + \frac{\partial}{\partial \eta}(\bar{v} + v') = \frac{\partial \bar{u}}{\partial s} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial \eta} = 0 \tag{2}$$

Persamaan Momentum pada arah-s Untuk Aliran Laminar ;

$$u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial \eta} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{ds} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} \tag{3}$$

Untuk Aliran Turbulen ;

$$\begin{aligned} &(\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial s}(\bar{u} + u') + (\bar{v} + v') \frac{\partial}{\partial \eta}(\bar{v} + v') \\ &= -\frac{1}{\rho} \frac{d}{ds}(\bar{P} + P') + \nu \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}(\bar{u} + u') \end{aligned} \tag{4}$$

Persamaan Momentum pada arah- η

$$\frac{dP}{d\eta} = 0 \tag{5}$$

Persamaan Energi Laminar ;

$$u \frac{\partial T}{\partial s} + v \frac{\partial T}{\partial \eta} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} \tag{6}$$

Turbulen ;

$$(\bar{u} + u') \frac{\partial}{\partial s}(\bar{T} + T') + (\bar{v} + v') \frac{\partial}{\partial \eta}(\bar{T} + T') = \alpha \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}(\bar{T} + T') \tag{7}$$

Energi Kinetik Turbulen

$$\rho U_i \frac{\partial k}{\partial s_i} = \mu_t \left(\frac{\partial U_j}{\partial s_i} + \frac{\partial U_j}{\partial s_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial s_i} + \frac{\partial}{\partial s_i} \left\{ \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial s_i} \right\} - \rho \epsilon \tag{8}$$

Laju disipasi:

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial s_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial s_j} \right] + \rho c_1 S \epsilon - \rho c_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v\epsilon}} + c_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} c_{2\epsilon} \tag{9}$$

Bilangan Nusselt :

$$Nu_x = \frac{hS}{k_f} \tag{10}$$

Model tubulensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Model k- Realizable.

Model k- Realizable

Nazaruddin Sinaga (-) menyatakan Istilah realizable berarti bahwa model ini memenuhi batasan-batasan tertentu tegangan normal yang konsisten dengan sifat fisik aliran turbulen. Dengan menggabungkan hubungan Boussinesq dan definisi viskositas turbulen maka dapat diperoleh tegangan Reynolds normal dalam suatu aliran rata-rata inkompresibel:

$$\bar{u}^2 = \frac{2}{3} k - 2\nu_t \frac{\partial U}{\partial S} \tag{11}$$

Persamaan transport yang dimodelkan untuk model k- *realizable* adalah:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial S_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial S_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (12)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial S_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial S_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \epsilon^2 + \frac{\rho \mu_t}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} \quad (13)$$

Dengan

$$C_1 = \max \left(0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right) \quad (14)$$

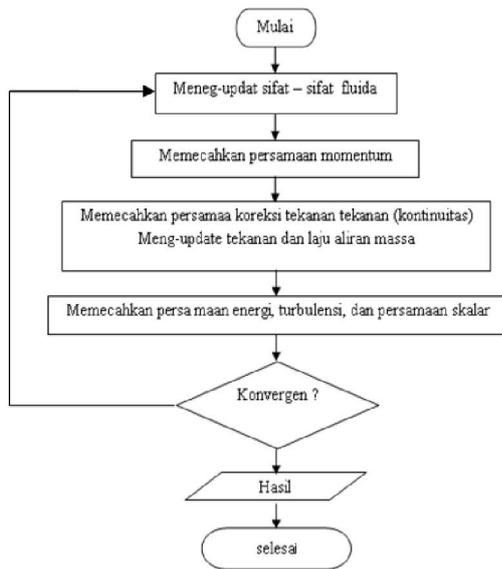
$$\eta = \frac{Sk}{\epsilon} \quad (15)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (16)$$

3. METODA NUMERIK

Proses komputasi dapat dilihat pada skema berikut.

Skema Komputasi



Gambar 2. Diagram alir komputasi

Skema numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah solver *segreted*. FLUENT memecahkan persamaan integral umum untuk kekalannya massa, momentum, energi serta besaran skalar lain seperti turbulensi. skema numerik tersebut sebenarnya menggunakan proses diskretisasi volume hingga. melinearisasi dan memecahkan persamaan diskrit. metoda *segreted* adalah memecahkan persamaan kontinuitas, momentum dan energi secara bertahap. Untuk tiap iterasi terdiri dari tahapan-tahapan seperti yang di ilustrasikan pada Gambar 2.

Diskretisasi

FLUENT menggunakan suatu teknik berbasis volume atur untuk mengubah bentuk persamaan diferensial umum ke bentuk persamaan aljabar agar dapat dipecahkan secara numerik. Teknik volume atur ini intinya adalah pengintegrasian persamaan diferensial umum untuk setiap volume atur, menghasilkan suatu persamaan diskrit dengan mengalikan setiap besaran pada suatu basis tur. Diskretisasi persamaan umum dapat dilaksanakan dengan menyatakan persamaan kekekalan kondisi-tunak untuk transport suatu besaran skalar ϕ . Hal ini ditunjukkan dengan persamaan yang ditulis dalam bentuk integral untuk volume atur sembarang sebagai berikut:

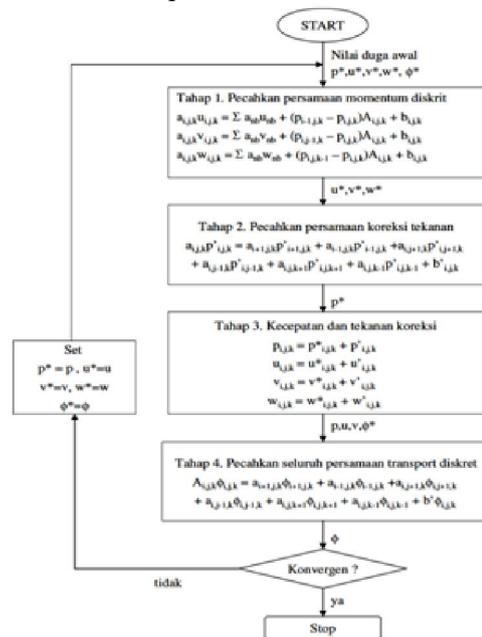
$$\oint \rho \phi v dA = \oint \Gamma_\phi \nabla_\phi dA + \int_V S_\phi dV \quad (17)$$

$$\left(\bar{v} + \frac{\partial \phi}{\partial S} \right) \frac{\partial \phi}{\partial S} = \left(\frac{\partial \phi}{\partial S} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial S} \right) + \left(\frac{\partial \phi}{\partial S} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial S} \right) \quad (18)$$

FLUENT menyimpan nilai-nilai diskrit skalar ϕ pada pusat sel. Meskipun demikian nilai-nilai sisi ϕ_f diperlukan untuk suku konveksi dalam persamaan di atas, dan harus diinterpolasi dari nilai-nilai pusat sel.

Solver

Proses pada *solver* merupakan proses pemecahan secara matematika dalam CFD dengan *software fluent 6.2*. Metode yang digunakan adalah metode volume hingga. Proses pemecahan matematika pada *solver* digambarkan sebagai diagram alir metode SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation*) (Gambar 3)



Gambar 3. Algoritma numerik volume hingga dengan metode SIMPLE

4. PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur Umum

Prosedur umum penelitian ini dimulai dari pengumpulan data berupa studi literatur, melalui berbagai journal terkait, dan berbagai literature mekanika fluida dan perpindahan panas serta CFD. Kemudian mengolah, dan merumuskan pemecahan masalah dengan menggunakan perangkat lunak inputan tersebut sebagai bahan simulasi hingga:

Berbagai properti Material

Sifat Udara		Nilai	Satuan
panas jenis isobar	cp	1006.43	J/kg.K
konduktivitas termal	k	0.0242	W/m.K
densitas	rho (ρ)	1.225	kg/m ³
viskositas	mu (μ)	0.000017894	kg/m.s
thermal expansion coefficient	β	0.001	1/K

Kondisi operasi

Operasi berlangsung dalam kondisi standar

Kondisi Batas

Dalam hal ini terdapat kondisi batas hidrodinamik dan kondisi batas termal.

Kondisi Batas Hidrodinamik

$$\text{Pada permukaan tabung } \eta = 0 \quad (19)$$

$$u = 0, v = 0 \quad (20)$$

$$\text{Di ujung lapisan batas } \eta = \delta(s) \quad (21)$$

$$u = U(s), \quad \frac{\partial u}{\partial \eta} = 0, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} = 0 \quad (22)$$

Kondisi Batas Termal

Syarat batas untuk tabung isofluks

$$\eta = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \eta} = -\frac{q}{k_f} \quad (23)$$

Under Relaksasi

Untuk menghindari divergensi, dalam metoda iterasi maka digunakan under relaksasi. Under relaksasi pada perinsipnya dapat digambarkan sebagai berikut:

Jika persamaan diskritisasi dinyatakan sebagai

$$a_p T_p = \sum a_{nb} T_{nb} + b \quad (25)$$

Dapat dinyatakan

$$T_p = \frac{\sum a_{nb} T_{nb} + b}{a_p} \quad (26)$$

Sisi kanan ditambah dan dikurang hasil iterasi sebelumnya T_p^* , maka

$$T_p = T_p^* + \left(\frac{\sum a_{nb} T_{nb} + b}{a_p} - T_p^* \right) \quad (27)$$

Dimodifikasi dengan factor relaksasi α

$$T_p = T_p^* + \alpha \left(\frac{\sum a_{nb} T_{nb} + b}{a_p} - T_p^* \right) \quad (28)$$

$$\frac{\alpha}{1-\alpha} T_p = \sum a_{nb} T_{nb} + b + \frac{(1-\alpha)a_p}{\alpha} T_p^* \quad (29)$$

Kriteria konvergensi

Perbedaan sebelumnya dengan dan hasil akhir dari iterasi 0,001 untuk semua persamaan dan 10^{-6} untuk persamaan energi.

Pembuatan Mesh

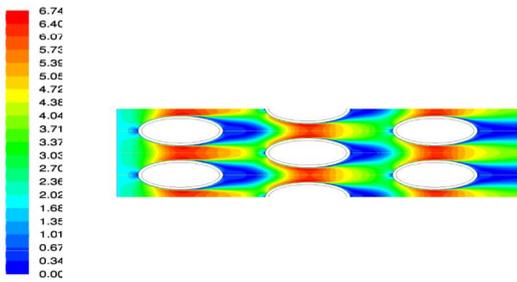


Gambar 4. Mesh segitiga dan quad untuk aliran diatas tabung eliptik [4]

Untuk Keakuratan hasil simulasi maka dalam pembuatan mesh harus diperhatikan nilai dari EquiAngle Skew, yang merupakan nilai kesamaan sudut pada elemen mesh tersebut. Untuk mesh segi tiga $\theta_s = 60^\circ$, sedangkan segi empat 90° .

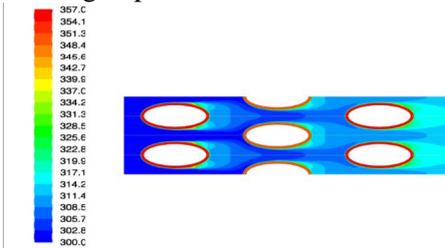
5. ANALISIS HASIL SIMULASI

Pada daerah sekitar dinding elip yang dilengkapi pengarah aliran udara, mempunyai kecepatan udara yang lebih tinggi daripada dinding elip yang tanpa pengarah aliran udara. Hal itu menandakan terjadinya perpindahan panas konveksi yang lebih baik. Koefisien perpindahan panas konveksi adalah fungsi dari bilangan reynold, dan Prandtl, dalam kondisi properti konstan bilangan reynold hanya fungsi kecepatan. Sedangkan bilangan prandtl yang merupakan perbandingan viskositas kinematis dan difusifitas termal cenderung berorientasi pada laju luas penampang yang efektif, masing masing besaran tersebut bersatuan m^2/s .



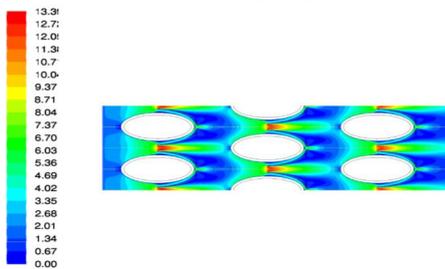
Gambar 5. Kontur besarnya kecepatan dalam m/s

Pada (Gambar 5) tampak fluida berkecepatan tinggi merah mendominasi celah antara elip, sedangkan fluida berkecepatan rendah terjadi pada daerah titik stagnasi dan hampir seluruh bagian belakang elip.



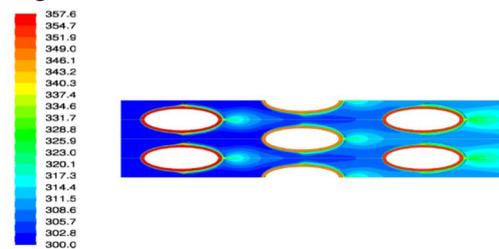
Gambar 6. Kontur suhu statis dalam Kelvin

Pada Gambar 6 ini diperlihatkan kontur suhu statis sebelum ditambahkan pengarah aliran udara.



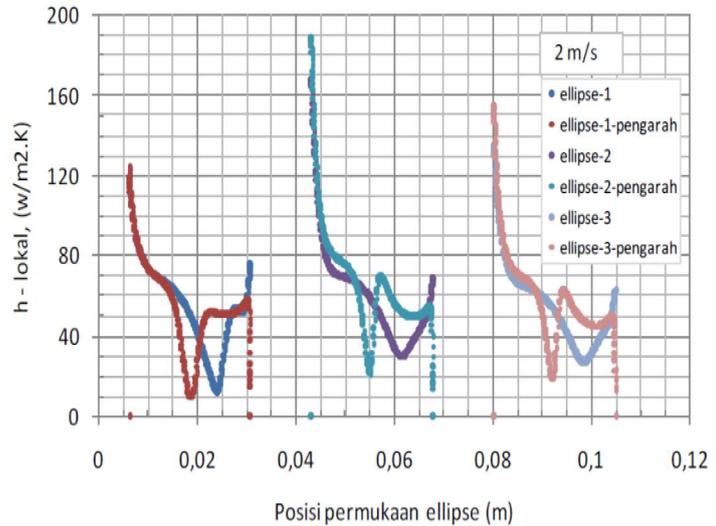
Gambar 7. Kontur kecepatan dengan pengarah angin dalam m/s.

Pada Gambar .7 Tampak sekitar didnding elip udara berkecepatan lebih tinggi daripada sebelum menggunakan pengarah udara, hal itu ditandai dengan warna biru lebih muda.

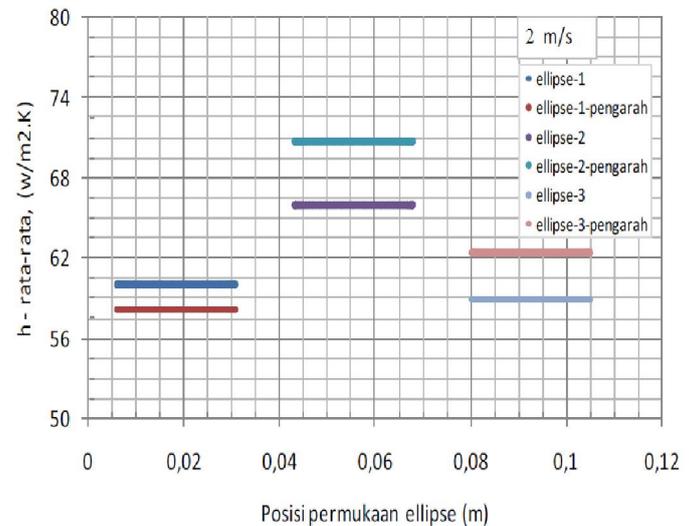


Gambar 8. Kontur suhu statis dengan pengarah angin dalam Kelvin

Pada (Gambar 8) setelah ditambahkan pengarah udara tampak menunjukkan pada sisi keluaran pengarah warna biru lebih muda yang menunjukkan suhu sekitar 314 K.



Gambar 9. Grafik KPPK lokal terhadap posisi permukaan elip



Gambar 10. Grafik KPPK rata - rata terhadap posisi permukaan elip

6. KESIMPULAN

Pada kecepatan 2 m/s, koefisien perpindahan panas konveksi rata - rata naik dengan penambahan pengarah aliran udara koefis dengan pengarah, bilangan Reynolds aliran udara terhadap sumbu utama elip dalam rentang 1700 sampai dengan 17500. Hasil simulasi numerik didapatkan menggunakan pengarah aliran udara yang melalui elip yang menghasilkan nilai KPPK tertinggi adalah 120 – 180 w/m²K. Atau dalam KPPK rata-rata setiap elip adalah 59 – 71 w/m².K..

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Khan, W.A. Culham J.R. dan Yovanovich, M.M. 2004, *Fluid Flow and Heat Transfer from a Cylinder Between Parallel Planes*, Journal of Thermophysycs and Heat Transfer, Vol.18, No.3, pp 395-404.
2. Matos, R.S. Vargas J.V.C., Laursen T.A. dan Saboya, F.E.M. 2001, *Optimization study and heat transfer comparison of staggered circular and elliptic tubes in forced convection*, International Journal Heat and Mass Transfer, Vol.44, No.2, pp 3953-3961.
3. R.S. Matos, J.V.C.Vargas, T.A. Laursen and A. Bejan, 2004, *Optimally staggered finned circular and elliptic tubes in forced convection*, International Journal Heat and Mass Transfer, Vol.47, pp 1347-1359.
4. Matos, R.S. Vargas J.V.C., Laursen T.A. dan Bejan, A. 2004, *Optimally staggered finned circular and elliptic tubes in forced convection*, International Journal Heat and Mass Transfer, Vol.47, pp 1347-1359.
5. Patankar, S. V. "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publ. Co., New-York, 1980
6. Sinaga, Nazaruddin." Pengaruh Model Turbulensi Dan Pressure-Velocity Copling Terhadap Hasil Simulasi Aliran Melalui Katup Isap Ruang Bakar Motor Bakar", *ROTASI – Volume 12 Nomor 2*
7. Zakir Faruquee, David S-K. Ting, Amir Fartaj, Ronald M. Barron and Rupp Carriveau, 2007, *The effect of axis ratio on laminar fluid flow around an elliptical cylinder*, Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.28, pp 1178-1189.