

Makalah Peserta

Group C : Teknik Mesin & Industri

Kode Paper : SST06-C01 s/d SST06-C19

HEDS Seminar on Science & Technology
(HEDS-SST) 2006

Jakarta, 13 ~ 14 September 2006



**BADAN KERJASAMA PERGURUAN TINGGI NEGERI
WILAYAH INDONESIA BARAT
FORUM HEDS
(Forum for Higher Education Development Support)**



Sekretariat : Gedung Cawang 77 – Lt.2, Jalan Dewi Sartika – Jalan H. Abdul Hamid
Cawang- Jakarta Timur. Telp. 021-8005736-37, Fax. 021-8005739, E-Mail: forumheds@indo.net.id

HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul Prosiding : HEDS Seminar on Science & Technology 2006
b. Judul Makalah : Pemodelan Temperatur Keluar Penukar Kalor dengan Metode Komputasi

2. Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Indra Mamad Gandidi, M.T.
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Gol. Pangkat dan NIP : Penata / III-c / 132240162
d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
e. Jabatan Struktural : -
f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Mesin

- Anggota Peneliti 1
a. Nama Lengkap dan Gelar : M. Irsyad, S.T., M.T.
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Gol. Pangkat dan NIP : Penata / III-c / 132283177
d. Jabatan Fungsional : Lektor
e. Jabatan Struktural : Kepala Program Studi Diploma III T. Mesin
f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Mesin

- Anggota Peneliti 2
a. Nama Lengkap dan Gelar : Harmen, S.T., M.T.
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Gol. Pangkat dan NIP : Penata / III-c / 132258021
d. Jabatan Fungsional : Lektor
e. Jabatan Struktural : -
f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Mesin

3. Lokasi Penelitian : Lab. Termodinamika Jurusan Teknik Mesin

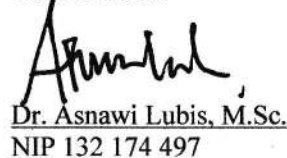
Bandarlampung, 31 Maret 2009
Ketua Peneliti



Ir. Indra Mamad Gandidi, M.T.
NIP 132 240 162

Mengetahui,

Ketua Jurusan
Teknik Mesin



Dr. Asnawi Lubis, M.Sc.
NIP 132 174 497


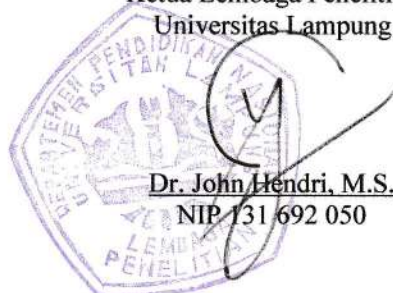


Pembantu Dekan I
Fakultas Teknik

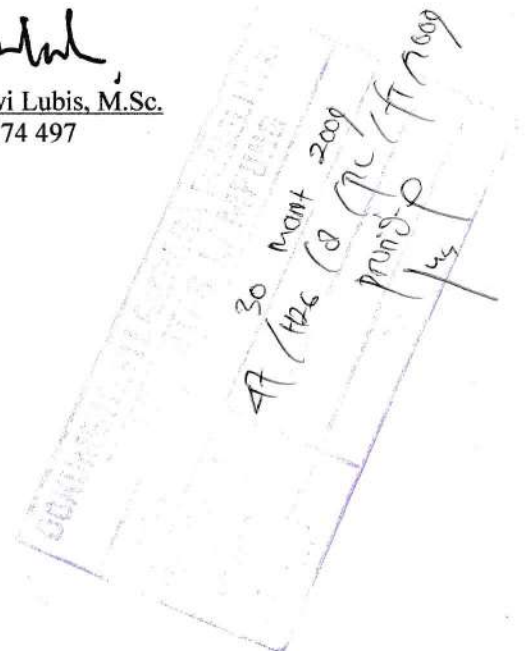


Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, DEA
NIP 132 062 737

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Lampung



Dr. John Hendri, M.S.
NIP 131 692 050



KATA PENGANTAR

Seperti pada tahun-tahun sebelumnya, pada tahun 2006 Forum HEDS juga menyelenggarakan Seminar Penelitian di bidang Ilmu Teknik. Seminar ini merupakan forum ilmiah yang membahas hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh dosen-dosen muda Fakultas Teknik yang menjadi anggota **Forum HEDS (Forum for Higher Education Development Support)**, yang penelitiannya mendapat dukungan dana dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Forum HEDS. Program penelitian di bidang Ilmu Teknik ini disebut *Self Development Project Funding (SDPF)*, yang telah ditawarkan setiap tahun sejak 1992. Program penelitian ini khusus ditawarkan kepada dosen-dosen muda untuk mendapatkan pengalaman awal melakukan penelitian ilmiah secara mandiri. Usulan-usulan yang dinilai cukup baik oleh pakar dari ilmu yang relevan kemudian mendapat dukungan dana melalui Forum HEDS.

Penelitian-penelitian yang dianggarkan pada tahun 2005 ini kemudian hasilnya diseminarkan pada tahun 2006 bertempat di Jakarta. Seminar yang dinamai *HEDS Seminar on Science and Technology (HEDS-SST)* dihadiri oleh semua dosen peneliti yang bersangkutan, dan para pakar dari bidang ilmu yang relevan yang diundang khusus untuk mengevaluasi penyajian hasil-hasil penelitian ini. Dari evaluasi ini keluarlah pemakalah terbaik tahun 2006 untuk bidang Teknik Mesin dan Industri, yaitu:

- Pemakalah Terbaik Pertama (I) adalah **Zulfadhli, ST., MT** dari **Universitas Syiah Kuala (UNSYIAH)** dengan judul makalah "*Study of Mechanical and Acaustical Properties of Palm Fiber Reinforced Composites.*"
- Pemakalah Terbaik Kedua (II) adalah **Amrul, ST., MT** dari **Universitas Lampung (UNILA)** dengan judul makalah "*Efek Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon terhadap Pelumasan Kompresor Mesin Refrigerasi Kompresi Uap yang Menggunakan Refrigeran R-22.*"

Prosiding *HEDS Seminar on Science and Technology 2006* ini diterbitkan untuk menjadi bahan dokumen sekaligus sebagai publikasi hasil-hasil penelitian tersebut. Selanjutnya diharapkan adanya kritik dan saran perbaikan dari para pembaca yang dapat disampaikan langsung kepada penulis yang bersangkutan.

Dengan segala kelebihan dan kekurangan buku prosiding ini disampaikan kepada sidang pembaca untuk mendapatkan penelaahan seobyektif mungkin. Semoga bermanfaat.

Jakarta, Mei 2007

Mantan Koordinator Forum HEDS

Margono Slamet

Daftar Makalah Peserta HEDS Seminar on Science & Technology (SST) 2006

Jurusan : Teknik Mesin & Industri

Kode Paper : SST06-C01 s/d SST06-C18

Jakarta, 13 ~14 September 2006

No.	Kode Paper	Nama	Univ.	Jurusan	Judul Makalah
1	SST06-C01	Azridjal Aziz, ST, MT	UNRI	Mesin	Performance of an air Conditioning as Hybrid refrigeration Machine uses Hydrocarbons as Substitutes for Halogenated Refrigerant
2	SST06-C02	Endri Yani, ST	UNAND	Mesin	Effect of Drying parameters on the Quality of Gambir (Uncaria Gambir Roxb)
3	SST06-C03	Ir. Kamil Mustafa, MT	UMA	Industri	Aplikasi Robust Design untuk Penentuan Kombinasi Level Faktor Optimal dalam Upaya Perbaikan dan Keseragaman Kualitas Produk Keramik
4	SST06-C04	Mohammad Badaruddin, ST, MT	UNILA	Mesin	The Prestrain Effect on Stress Corrosion Cracking Behavior of the 304 Stainless Steel Welded in a Boiling Magnesium Chloride
5	SST06-C05	Navri Tanti, ST, MT	UNILA	Mesin	Optimal Design of Tranverse and Longitudinal Pitch to Enhancement of Tube Bank Cross Flow Heat Exchanger Performance
6	SST06-C06	Qomarul Hadi, ST, MT	UNSRI	Mesin	Pengaruh Waktu Stirring dan Fraksi Volume Terhadap Densitas Porositas, Kekerasan, Keausan dan Ekspansi Termal Metal Matrix Composite AL 6063-AI2O3 Dengan Sistem Stir Casting.
7	SST06-C07	Ir. Helmy Alian, MT	UNSRI	Mesin	Investigation on cavitation Erosion of Boat Propeller Using Scanning Electron Microscope (SEM)
8	SST06-C08	Zulfadhli, ST, MT	UNSYIAH	Mesin	Study on Mechanical & Acoustical Properties of Palm Fiber Reinforced Composites
9	SST06-C09	Gusriwandi, ST	UNAND	Mesin	Calibration & Application of cup, propeller and Savonius type Wind Anemometer Developed to Substitute Imported Products
10	SST06-C10	Jon Affi, ST, MT	UNAND	Mesin	Fracture Characteristic of Resin Epoxy and Composite Epoxy

No.	Kode Paper	Nama	Univ.	Jurusan	Judul Makalah
11	SST06-C11	Irza Sukmana, ST, MT	UNILA	Mesin	The Effect of Hot dip galvanizing Process on the Atmospheric Corrosion Protection of Low Carbon Steel at Rural, Urban, Industrial, and Marine Area at Lampung Province
12	SST06-C12	Amrul, ST, MT	UNILA	Mesin	Efek Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon Hidrokarbon HCR-22 Terhadap Pelumas Kompresor Mesin Refrgerasi Kompresi Uap yang Menggunakan Refrigeran R-22
13	SST06-C13	Amrizal, ST, MT	UNILA	Mesin	Optimalisasi dimensi panjang Sirip pada Pelat Absorber Surya
14	SST06-C14	Dicky Fatrias, ST	UNAND	Industri	Optimization of Manufacturing Process Design of Link Plate Jig of Chain Conveyor Based on Feature Extraction Approach
15	SST06-C15	Rudi Kurniawan, ST, MT	UNSYIAH	Mesin	Application of BEM to Evaluate the Design of Sacrificial Anodic Protection System for Underground Pipeline
16	SST06-C16	Ir. Indra Mamad Gandidi, MT	UNILA	Mesin	Modelling Outlet Temperature of Heat Exchanger Using Computational Method
17	SST06-C17	M. Ilham Maulana, ST, MT	UNSYIAH	Mesin	The Application of Palm Waste as a Fuel for Powering of the Palm Industry
18	SST06-C18	Bakhtiar, ST, MT	UNIMAL	Industri	Penggunaan Quality Function Deployment untuk Perbaikan dan Peningkatan Kualitas (Studi Kasus pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh)
19	SST06-C19	Rika Ampuh Hadiguna, ST, MT	UNAND	Industri	Design of Plant Layout to Support Volume Flexibility

PEMODELAN TEMPERATUR KELUAR PENUKAR KALOR DENGAN METODE KOMPUTASI

1) Indra Mamad Gandidi, 2) Harmen, 3) Muhammad Irsyad
Juurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung (35145)
Telp. (0721) 7479221, Fax. (0721) 704947, E-mail : indra_m_g@unila.ac.id

ABSTRACT

The change of temperature in heat exchanger path is depending to inlet temperature, mass flow rate, length of path and gradient temperature of fluid on heat exchanger will give an effect to properties of fluid and heat exchanger performances. In the present work, the statistic-numerical approach to outlet temperature of a concentric tube heat exchanger is presented to determine optimize of design temperature value and it effect to the convective heat transfer rate, efficiency and effectiveness. The statistic-numerical results were obtained using the second order-least square methode from Matlab and are validated with the experimental and design data for a smooth tube heat exchanger. The modeling process result of outlet temperature have agree with the experimental data and it has just deviation standard about $S_D = 0.9605$ with coefficient of correlation and determination is about $R = 0.994$ and $R^2 = 0.987$ respectively. Also, the model has deviation of outlet temperature about 4.65% and 10.60% compared with actual and design temperature design respectively. This deviation will be give a deviation effect about 20.57% between actual and design of heat transfer rate.

Keywords: Concentric tube heat exchanger; Outlet temperature; statistic-numerical; Deviation

ABSTRAK

Perubahan temperatur sepanjang lintasan penukar kalor bergantung pada temperature fluida masuk, laju aliran masa, gradien temperatur dan panjang lintasan penukar kalor. Perubahan temperature ini akan memberikan pengaruh pada sifat-sifat fluida dan unjuk kerja penukar kalor. Penelitian yang dilakukan ini merupakan penelitian dengan pendekatan statistik-numerik untuk mengkaji kondisi optimal temperatur keluar penukar kalor dan pengaruhnya terhadap unjuk kerja termal penukar kalor pipa konsentrik. Hasil proses statistik-numerik didapat menggunakan metode second order-least square dengan bahasa pemograman Matlab. Hasil pemodelan temperatur keluar penukar kalor dengan pendekatan statistik-numerik mempunyai kesesuai hasil dengan data yang didapat secara eksperimen. Hasil ini hanya menyimpang $S_D = 0.9605$ jika dibandingkan dengan data eksperimen dengan koefisien determinasi dan korelasi sebesar $R = 0.99974$ dan $R^2 = 0.999481$. Perbedaan temperature keluar model berbeda sebesar 4.65% dan 10.60% jika dibandingkan dengan temperatur keluar aktual dan rancangan. Penyimpangan temperatur ini mengakibatkan penyimpangan antara laju perpindahan panas actual dan rancangan sebesar 20.57%.

Kata Kunci: Penukar Kalor Konsentrik, Temperatur keluar, Statistik-numerik, Penyimpangan

I. PENDAHULUAN

Penukar kalor jenis *shell* dan cakang (*shell and tube heat exchanger*) merupakan penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri khususnya industri kimia dan makanan. Lebih kurang 60% dari total penukar kalor yang dipergunakan saat ini sebagai pembangkit daya, alat-alat proses kimia, *evaporator*, *condenser* dan lain-lain (Fraas, A.P, 1989). Penukar kalor pipa

konsentrik (*concentric tube heat exchanger*) merupakan bentuk sederhana dari penukar kalor *shell and tube* untuk tujuan eksperimen laboratorium.

Dalam proses perancangan penukar kalor, variabel temperatur keluar atau besarnya laju panas yang harus dipindahkan dari fluida panas ke fluida dingin merupakan variabel yang utama dalam merancang ukuran dan model penukar kalor yang dibutuhkan (Hewitt, G.F, dkk, 1994). Selama ini, proses transfer kalor untuk keperluan rancangan praktis biasanya melibatkan perumusan linear untuk model alat penukar kalor, yang secara luas telah digunakan diberbagai industri dan mencukupi untuk pengontrolan proses pada industri tersebut. Kelinearan ini disebabkan oleh pemberian asumsi-asumsi ketika merancang sebuah penukar kalor. Asumsi-asumsi tersebut diantaranya adalah dengan menganggap variasi perubahan panas spesifik (C_p) fluida dan koefisien transfer panas menyeluruh (U) yang melalui penukar kalor adalah konstan (Hewitt, G.F, dkk, 1994). Pada kondisi sebenarnya panas spesifik fluida dan koefisien perpindahan panas menyeluruh bervariasi disepanjang lintasan penukar kalor karena C_p dan U merupakan fungsi temperatur yang juga bervariasi di sepanjang lintasan. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya deviasi yang cukup signifikan antara temperatur aktual keluar dengan temperatur rancangan keluar penukar kalor.

Pada perkembangannya, kebutuhan akan penghematan energi, material dan ekonomi serta keperluan yang bersifat teliti dan sensitif, mendorong para *engineer* untuk mengembangkan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang lebih efisien dan optimal. Suatu pendekatan yang lebih disukai untuk meningkatkan efisiensi penukar kalor adalah untuk mengoptimalkan proses transfer panas, ukuran dan *operational cost* penukar kalor yang dihubungkan dengan laju transfer panas penukar kalor (metode pasif) (S.V. Mokamati dan R.C. Prasad, 2003). Karenanya, dalam penelitian ini dilakukan pemodelan keluaran temperatur penukar kalor pipa konsentrik dengan pendekatan statistik-numerik dengan perumusan non-linear menggunakan metode komputasi untuk mendapatkan keluaran temperatur yang optimal yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam perancangan alat penukar kalor yang lebih optimal dan sebagai fungsi kontrol yang lebih akurat

1.1. Akurasi Model

Unjuk kerja dan proses kontrol yang baik dapat dicapai dari sebuah model yang baik pada sebuah sistem (Fratantonio, D, dkk, 2001). Adanya deviasi antara laju perpindahan panas aktual dan rancangan, menyebabkan penukar kalor tidak efisien dan proses kontrol kurang baik, sehingga perlu dioptimasi untuk mendapat performan yang paling baik. Target ini dapat dicapai, salah satunya dengan pemodelan menggunakan metode statistik-numerik. Hal ini telah dibuktikan oleh Siegel, J.A, dkk, 2002 yang telah melakukan pemodelan numerik terhadap alat penukar kalor jenis HVAC untuk memprediksi besarnya endapan yang melekat pada fin dan pipa alat pada alat tersebut. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa hasil model sangat sesuai dengan data yang didapat secara ekperimental akan tetapi endapan partikel pada kecepatan tinggi tidak dapat diprediksi. Perbedaan antara koefisien perpindahan panas aktual dan pemodelan pada penukar kalor pipa konsentrik pernah dilakukan oleh (S.V. Mokamati dan R.C. Prasad, 2003) menggunakan metode numerik. Hasil mereka menunjukkan adanya perbedaan koefisien perpindahan panas aktual (eksperimental) dengan hasil numerik sebesar 2% dan 5% penyimpangan jika dibandingkan dengan persamaan korelasi. Metode numerik dapat juga digunakan untuk memprediksi perpindahan panas dan massa pada proses penggorengan lemak (G.S. Mittal, et all, 2000). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa *metode numerik* yang dikembangkan dari model matematik dapat digunakan sebagai *tool* untuk memprediksikan proses perpindahan panas dan massa dengan akurat pada proses penggorengan makan. L. I. Zaichik, 1999, melakukan pemodelan statistik untuk memprediksi transpor partikel dan transfer panas pada aliran turbulen dua phase yang didasarkan pada persamaan kinetik untuk pendekatan

fungsi density pada kecepatan partikel dan distribusi temperatur dalam aliran turbulen yang tidak merata.

1.2. Pendekatan Statistik-Numerik

Temperatur keluar penukar kalor sangat bergantung pada temperatur masuk, laju aliran massa fluida kerja dan panjang lintasan penukar kalor.

$$T_{hout} = f(T_{hin}, T_{cin}, m_c, m_h, L) \quad (1)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan variabel kompleks dan dapat diselesaikan dengan metode kuadrat terkecil (*least square method*) pada regresi linier berganda (*multiple linier regression*). Secara umum, persamaan yang diberikan adalah (Chapra, Stephen C, 1988):

$$T_{hout} = a_0 T_{hin}^{a_1} T_{cin}^{a_2} \dot{m}_h^{a_3} \dot{m}_c^{a_4} L^{a_5} \quad (2)$$

Untuk penyelesaiannya, persamaan (2) harus ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma untuk mendapatkan persamaan yang linier.

$$\log T_{hout} = \log a_0 + a_1 \log T_{hin} + a_2 \log T_{cin} + a_3 \log \dot{m}_h + a_4 \log \dot{m}_c + a_5 \log L \quad (3)$$

Untuk mendapatkan konstanta $a_0 - a_5$, persamaan (3) dapat diselesaikan dengan pendekatan metode *naivegauss elimination*.

1.3. Validasi Model

Untuk mengukur keberhasilan model maka digunakan koefisien regresi dan standar deviasi atau penyimpangan hasil model dan hasil aktual. Apabila semua titik observasi berada tepat pada garis regresi, standar deviasi sama dengan nol (model berhasil). Standar deviasi pada perhitungan untuk regresi linier berganda dirumuskan dengan :

$$S_D = \sqrt{\frac{S_r}{n - (m + 1)}} \quad (4)$$

dimana, m = jumlah konstanta. Koefisien determinasi untuk melihat hubungan antar variabel dapat dihitung dengan persamaan :

$$R^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (5)$$

dimana:

$$S_t = \sum (\log T_{hout} - \log \bar{T}_{hout})^2 \quad (6)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (\log T_{hout} - a_0 - a_1 \log T_{hin} - a_2 \log T_{cin} - a_3 \log \dot{m}_h - a_4 \log \dot{m}_c - a_5 \log L)^2 \quad (7)$$

$$\log \bar{T}_{hout} = \frac{\sum \log T_{hout}}{n} \quad (8)$$

1.4. Proses Komputasi

Model matematik yang dikembangkan sebagai fungsi *non-linear* terhadap temperatur keluar fluida kerja dengan pendekatan statistik-numerik digunakan untuk proses pemodelan menggunakan metode komputasi yang disusun menggunakan bahasa program MATLAB.

1.5. Unjuk Kerja Termal Model

Berdasarkan hukum kesetimbangan energi, besarnya laju transfer panas dari fluida panas ke fluida dingin adalah (Hewitt, G.F, dkk, 1994) :

$$\bar{Q}_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{cout} - T_{cin}) \quad (9)$$

dan keefektifan sebuah penukar kalor $\bar{\varepsilon}$ dalam memindahkan panas didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas aktual \bar{Q}_c terhadap laju perpindahan panas maksimum Q_{max} , penukar kalor,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{Q}_c}{Q_{max}} \quad (10)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\dot{m}_c c_{pc} (T_{cout} - T_{cin})}{(\dot{m} c_p)_{min} (T_{hin} - T_{cin})} \quad (11)$$

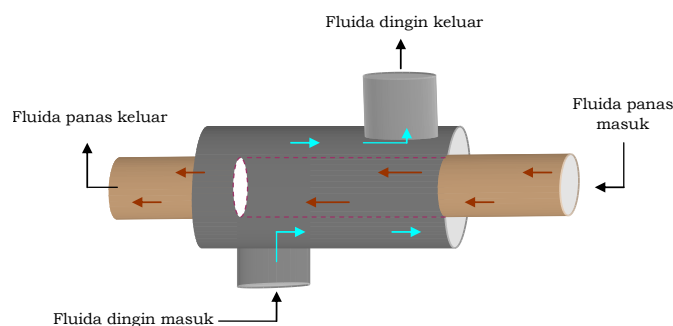
dan efisiensi penukar kalor dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{pk} &= \frac{\text{Panas yang diserap oleh fluida dingin}}{\text{Panas yang dilepas oleh fluida panas}} \times 100\% \\ &= \frac{\bar{Q}_c}{Q_h} \times 100\% \end{aligned} \quad (12)$$

II. METODE PENELITIAN

2.1. Pemodelan

Pembuatan model temperatur keluar penukar kalor menggunakan teknik komputasi didasarkan pada kecenderungan data yang didapat melalui eksperimen. Model penukar kalor yang digunakan dalam penelitian ini adalah penukar kalor pipa konsentrik karena penukar kalor jenis tubular ini banyak digunakan di industri seperti *shell and tubes heat exchanger*. Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan perancangan dan pembuatan alat uji penukar kalor pipa konsentrik.



Gambar 1. Instalasi penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah

Perancangan dan pembuatan ini dilakukan berdasarkan data-data input yang diberikan dan dispesifikasi. Penukar kalor yang dirancang difungsikan untuk mendinginkan fluida panas dengan temperatur masuk kira-kira 50.5°C menggunakan fluida dingin dengan temperatur masuk 28.5°C dan target keluaran temperatur fluida panas $T_{h,out}$ diturunkan menjadi 44°C . Laju aliran massa fluida panas $0,14\text{ kg/s}$ dan fluida dingin $0,083\text{ kg/s}$.

Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pemodelan temperatur keluar fluida dingin yang mengalir dalam pipa penukar kalor pipa konsentrik dengan metode komputasi. Data-data keluaran temperatur fluida dingin (target) yang didapat melalui eksperimen pada penukar kalor pipa konsentrik digunakan untuk membuat sebuah model matematik keluaran temperatur penukar kalor. Teknik yang digunakan dalam pemodelan ini adalah pendekatan statistik-numerik yang melibatkan regresi *non-linear* dimana teknik ini mampu menghasilkan kesesuaian yang kontinu untuk data yang kompleks. Model matematik yang telah dikembangkan sebagai fungsi *non-linear* keluaran temperatur fluida digunakan untuk proses pemodelan menggunakan metode statistik-numerik yang disusun menggunakan program MATLAB.

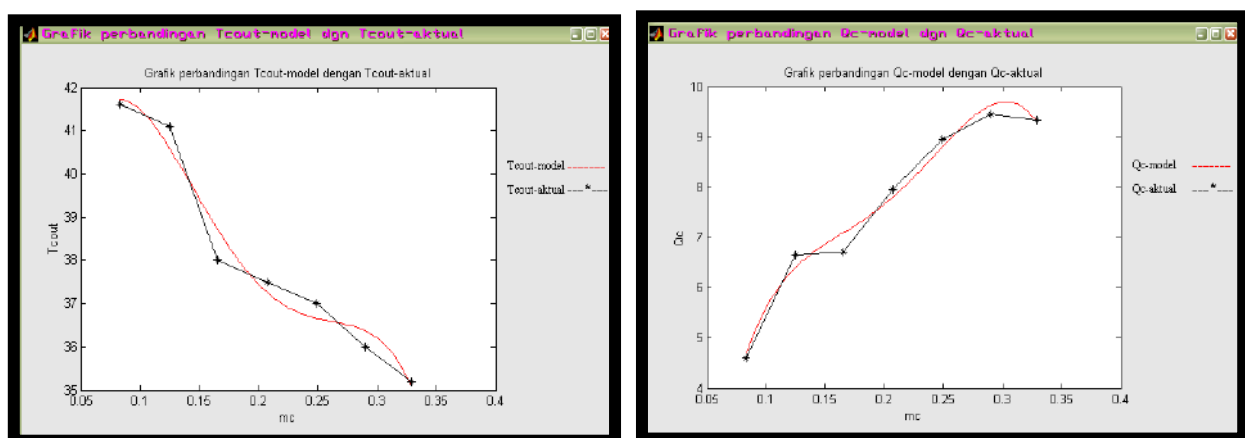
2.2. Analisa Model

Hasil akhir dari penelitian ini adalah keluaran temperatur fluida dingin sebagai fungsi berbagai variasi variabel input yang didapat secara eksperimental dan proses pemodelan menggunakan teknik komputasi. Selanjutnya dilakukan komparasi kedua keluaran temperatur ini dengan keluaran temperatur rancangan yang bertujuan untuk melihat keberhasilan model.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran secara eksperimen terhadap temperatur keluar penukar kalor pipa konsentrik digunakan untuk proses pemodelan dengan pendekatan statistik-numerik. Keberhasilan pemodelan keluaran temperatur diukur dengan parameter determinasi dan regresi yaitu R dan R^2 . Hasil pemodelan dikatakan berhasil jika nilai R dan R^2 mendekati satu. Komparasi hasil keluaran temperatur eksperimen dan pemodelan dengan temperatur rancangan ditampilkan dalam bentuk grafik. Semua grafik yang ditampilkan dalam bentuk perbandingan hasil model dan data eksperimen sebagai fungsi variasi laju aliran masa fluida dingin (air) yang mengalir dalam pipa.

Gambar 2. menunjukkan bahwa hasil pemodelan temperatur keluar fluida dingin sangat bersesuaian dengan data temperatur keluar fluida dingin yang didapat secara eksperimental. Hal ini terlihat dari grafik bahwa ke dua hasil ini mempunyai kemiringan garis yang hampir berimpitan.

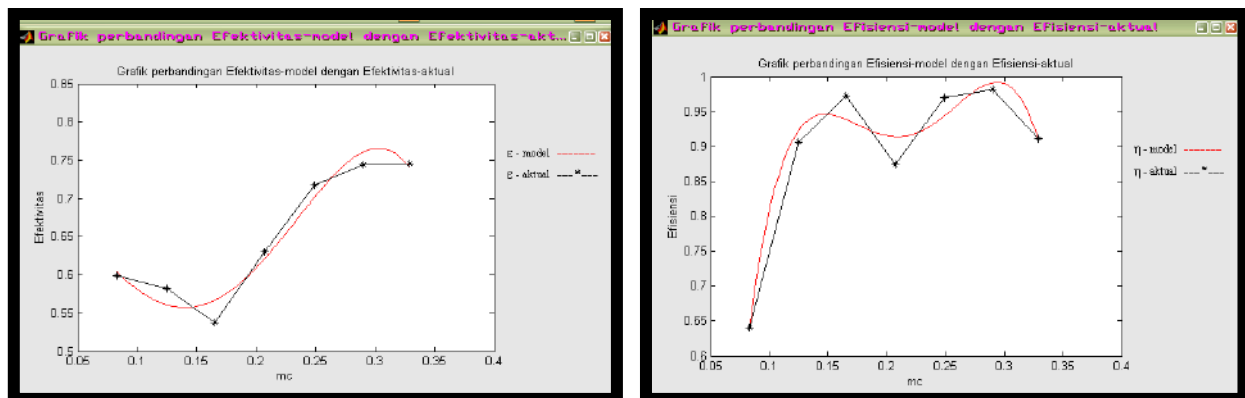


Gambar 2. Grafik temperatur keluar dan laju perpindahan panas penukar kalor

Model temperatur keluar ini dapat dikatakan berhasil karena penyimpangan hasil atau standar deviasi antara model dan temperatur keluar aktual hanya sebesar $S_D = 0.9605$ (mendekati nol) dengan koefisien determinasi $R = 0.99974$ dan regresi $R^2 = 0.999481$ (mendekati 1). Secara persentase, penyimpangan temperatur keluar model dengan temperatur aktual adalah sebesar 4.65% dan 10.60% terjadi penyimpangan terhadap temperatur keluar rancangan. Penyimpangan antara temperatur keluar aktual dan rancangan sebesar 5.70%.

Gambar 2. juga menunjukkan kesesuaian nilai laju perpindahan panas antara model dan eksperimental. Penyimpangan yang terjadi sebesar 14.56% dan 38.13% masing-masing dibandingkan dengan laju perpindahan panas aktual dan rancangan. Penyimpangan antara laju perpindahan panas aktual dan rancangan sebesar 20.57%. Dari kemiringan garis pada grafik, unjuk kerja termal optimum penukar kalor pipa konsentrik terjadi pada laju aliran masa fluida dingin sebesar 0.315 kg/s.

Berdasarkan grafik 3. efektivitas dan efisiensi penukar kalor model terjadi penyimpangan sebesar 14,56% dan 37,81% ; 14,56% dan 36,32% dibandingkan dengan efektivitas dan efisiensi aktual dan rancangan.



Gambar 3. Grafik efektivitas dan koefisien perpindahan panas menyeluruh penukar kalor

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pemodelan temperatur keluar penukar kalor pipa konsentrik (jenis tubular) menunjukkan bahwa pengasumsian panas spesifik fluida c_p dan koefisien perpindahan panas menyeluruh U memberikan penyimpangan temperatur keluar dan laju perpindahan panas antara rancangan dan aktual masing-masing sebesar 5.70% dan 20,57%. Penyimpangan ini cukup signifikan dan memberikan *losses* energi yang cukup besar. Disarankan untuk melakukan verifikasi rancangan dan eksperimental menggunakan temperatur keluar hasil pemodelan. Jika hasil ini terbukti, untuk proses rancangan penukar kalor jenis pipa konsentrik dapat menggunakan model matematis temperatur keluar dan dapat mereduksi *losses* energi. Untuk menyempurnakan hasil, disarankan untuk melakukan pemodelan terhadap panas spesifik fluida c_p dan koefisien perpindahan panas menyeluruh U .

V. DAFTAR PUSTAKA

Chapra. C, Steven, et all, 1988, "Numerical Methods for Engineers", Second Edition, McGraw-Hill International Edition, New York.

Fratantonio. D, et all, 2001, "Fuzzy modelling for a rotary dryer", Control Engineering Laboratory, Box 4300, FIN-90014 University of Oulu.

Fraas, A.P, 1989, "Heat Exchanger Design", Second Edition, John Willey & Sons, New York.

Hewitt, G.F, dkk, 1994, “*Process Heat Transfer*”, CRC Press, Tokyo.

L. I. Zaichik, 1999, “A statistical model of particle transport and heat transfer in turbulent shear flows”, *Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Krasnokazarmennaya 17a, 111250 Moscow, Russia*

Siegel, J.A, dkk, 2002, “*Modeling Particle Deposition on HVAC Heat Exchanger*”, Indoor Environment Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA

S.V. Mokamati, R.C. Prasad, 2003 ”*Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transferi in a Concentric Tube Heat Exchanger*”, Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

DAFTAR SIMBOL

c_{pc}	Panas spesifik fluida dingin	kJ/kg.K
c_{ph}	Panas spesifik fluida dingin	kJ/kg.K
C_{min}	Panas spesifik minimum	kJ/kg.K
L	Panjang pipa	m ²
m	Jumlah konstanta dari variabel	tak berdimensi
n	Jumlah data	tak berdimensi
\dot{m}_c	Laju aliran massa fluida dingin	kg/s
\dot{m}_h	Laju aliran massa fluida panas	kg/s
\overline{Q}_c	Laju perpindahan panas fluida dingin	kW
\overline{Q}_h	Laju perpindahan panas fluida panas	kW
Q_{max}	Laju perpindahan panas maksimum	kW
R^2	Koefisien determinasi	tak berdimensi
S_D	Standar deviasi	tak berdimensi
S_t	Jumlah kuadrat variabel terikat dikurangi rata2nya	tak berdimensi
S_r	Jumlah kuadrat variabel persamaan	tak berdimensi
T_{cin}	Temperatur fluida dingin masuk	°C
T_{cout}	Temperatur fluida dingin keluar	°C
T_{hin}	Temperatur fluida panas masuk	°C
T_{hout}	Temperatur fluida panas keluar	°C
$\bar{\varepsilon}$	Efektivitas	tak berdimensi
$\bar{\eta}$	Efisiensi	tak berdimensi