

**Pengaruh *Wing Pitch Ratio* dan *Wing Width Ratio* Terhadap
Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada
Penukar Kalor Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Double Sided Delta*
Wing Tape Insert Susunan *Forward Wing***

Disusun oleh :

Arif'ad Isnain
NIM. I0409008

Dosen Pembimbing I

Tri Istanto, ST., MT.
NIP. 197308202000121001

Dosen Pembimbing II

Wibawa Endra J., ST., MT.
NIP. 197009112000031001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Rabu, tanggal 7 Januari 2015

1. D. Danardono, ST., MT, Ph.D.
NIP. 196905141999031001
2. Eko Prasetyo B., ST, MT.
NIP. 197109261999031002

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Koordinator Tugas Akhir

Didik Djoko Susilo, ST., MT
NIP . 197203131997021001

Dr ENG. Syamsul Hadi, ST., MT..
NIP. 197106151998021002

MOTTO

If he can do it,so i can

Allthings are possible to him who believes

“Man Jadda Wa Jada”

(Negeri 5 Menara)

ALL IZ WELL

(3 idiots)



commit to user

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati seraya mengucapkan syukur kehadiran Illahi, kupersembahkan tulisan ini kepada :

1. Allah SWT, pemilik segala keagungan, kemuliaan, kekuatan dan keperkasaan. Segala yang kualami adalah kehendak-Mu, semua yang kuhadapi adalah kemauan-Mu, segala puji hanya bagi-Mu, ya Allah, pengatur alam semesta, tempat bergantung segala sesuatu, tempatku memohon pertolongan.
2. Junjungan Nabi besar Muhammad SAW, Manusia terbaik di muka bumi, uswatunhasanah, penyempurna akhlak, shollawat serta salam semoga selalu tercurah padanya, keluarga, sahabat dan pengikutnya yang istiqomah sampai akhir zaman.
3. Kasih sayang dan cinta yang tak pernah putus dari Bapak, Ibu, serta Kakak Adik beserta Keluarga Besar Hadi Suyoto tercinta. Kasih sayang kalian tak akan pernah kulupakan sepanjang hidupku.
4. Pak Tri Istanto dan Pak Wibawa yang selalu cerah ceria dan selalu membawa aura ketenangan dan tak pernah lelah untuk membimbing tugas akhir saya.
5. Seluruh dosen, karyawan, dan mahasiswa Teknik Mesin UNS.

Pengaruh Wing Pitch Ratio dan Wing Width Ratio Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Kalor Pipa Konsentrik Dengan Double Sided Delta Wing Tape Insert Susunan Forward Wing

Arifad Isnan

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta, Indonesia

E-mail : arifadisnan@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh *wing pitch ratio* (P/W) dan *wing width ratio* (w/W) terhadap karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik dengan *double sided delta wing tape insert* susunan *forward wing* (T-W with F-Wing). Pada penelitian ini, P/W divariasi sebesar 1,18; 1,47; dan 1,65, sedangkan w/W divariasi sebesar 0,31; 0,42; dan 0,63. *Double sided delta wing tape insert* adalah modifikasi dari *longitudinal tape insert* (L-T) dengan penambahan *delta wings* di kedua sisi *tape* secara selang-seling sebagai *vortex generators* untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi. Sebagai perbandingan, pada penelitian ini juga diuji penukar kalor tanpa sisipan (*plain tube*) dan dengan penambahan sisipan L-T. Fluida kerja di pipa dalam adalah air panas dan di *annulus* adalah air dingin, dengan arah aliran berlawanan arah. Pengujian dilakukan pada bilangan Reynolds (Re) 5300-14.500. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sisipan T-W with F-Wing, meningkatkan bilangan Nusselt (Nu), faktor gesekan (f) dan unjuk kerja termal (η) dibandingkan dengan penggunaan L-T. Karakteristik perpindahan panas, faktor gesekan dan unjuk kerja termal penukar kalor dengan penggunaan sisipan T-W with F-Wing meningkat dengan penurunan nilai P/W dan kenaikan nilai w/W . Penukar kalor dengan penambahan sisipan T-W with F-Wing dengan nilai $P/W = 1,18$ dan nilai $w/W = 0,63$ menghasilkan menghasilkan bilangan Nusselt, penurunan tekanan, faktor gesekan, efektifitas dan unjuk kerja termal tertinggi. Bilangan Nusselt rata-rata pipa dalam (Nu_i) dengan penambahan L-T dan T-W with F-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut meningkat dalam kisaran 12% - 21%; 160% - 177%; 134% - 166%; dan 93% - 118% dibandingkan dengan *plain tube*. Bilangan Nusselt rata-rata pipa dalam (Nu_i) dengan penambahan L-T dan T-W with F-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut meningkat dalam kisaran 12% - 21%; 89% - 114%; 139% - 159%; dan 160% - 177% dibandingkan dengan *plain tube*. Nilai faktor gesekan (f) rata-rata pipa dalam dengan penambahan sisipan L-T dan T-W with F-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut 2,39; 11,60; 8,85; dan 6,87 kali lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube*. Nilai faktor gesekan (f) rata-rata di pipa dalam dengan penambahan sisipan L-T dan T-W with F-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut 2,39; 8,53; 9,93; dan 11,59 kali lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube*. Unjuk kerja termal penukar kalor dengan penambahan sisipan LT dan T-W with F-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut dalam kisaran 1,96; 1,79; dan 1,63 dan dengan penambahan sisipan T-W with F-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut dalam kisaran 1,48; 1,64; dan 1,81.

Kata kunci : bilangan Nusselt, delta wing, faktor gesekan, wing pitch ratio, wing width ratio

Investigation on Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of The Annular Channel Concentric Tube Heat Exchanger With Perforated Twisted Tape Insert With Parallel Wings

Rahmad Bawa Setiawan Harahap

Departement of Mechanical Engineering
Engineering Faculty of Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia
E-mail : rahmadfugass@rocketmail.com

Abstract

This research was conducted to examine the characteristics of heat transfer and friction factor in the annular channel concentric tube heat exchanger with perforated twisted tape insert with parallel wings. Flows in the inner tube and in annulus was counter flow. Working fluid in the inner tube was hot water which its inlet temperature was maintained at 60°C, whereas in the annulus was cold water at inlet temperatur of $\pm 27^\circ\text{C}$. For comparison, inner tube tested without twisted tape insert (plain tube) and with classic twisted tape insert. Classic twisted tape insert and perforated twisted tape insert with parallel wings made of aluminum strip with a twist ratio of 3.8 and the pitch length of 48 mm. Perforated twisted tape insert with parallel wings had wing depth ratio at 0.16, 0.24 and 0.32, whereas the hole diameter ratio constant at 0.24.

The research result showed that the inner tube with the addition of perforated twisted tape insert with parallel wings at the hole diameter ratio of 0.24 and wing depth ratio of 0.32 produced the highest Nusselt number, pressure drop, friction factor and thermal performance. At Reynolds number between 5.500 and 18.000, the addition of perforated twisted tape insert with parallel wings at wing depth ratio of 0.16, 0.24, and 0.32 into the inner tube increased the average thermal performance of 1.11; 1.25; 1.30 and 1.34, respectively.

Keywords: Nusselt number, Reynolds number, friction factor, perforated twisted tape insert with parallel wings, wing depth ratio.

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi “Pengaruh *Wing Pitch Ratio* dan *Wing Width Ratio* Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Kalor Pipa Konsentrik Dengan *Double Sided Delta Wing Tape Insert* Susunan *Forward Wing*” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam Penyelesaian Skripsi ini tidaklah mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Didik Djoko Susilo, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNS Surakarta.
2. Bapak Tri Istanto, ST, MT, selaku Pembimbing I atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
3. Bapak Wibawa Endra J., ST, MT, selaku Pembimbing II yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
4. Bapak D. Danardono, ST., MT, Ph.D, dan bapak Eko Prasetyo, ST., MT. selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberi saran yang membangun.
5. Bapak Eko Prasetyo, ST., MT. selaku Pembimbing Akademis yang telah menggantikan sebagai orang tua penulis dalam menyelesaikan studi di Universitas Sebelas Maret ini.
6. Bapak Dr ENG. Syamsul Hadi, ST.,MT. selaku koordinator Tugas Akhir
7. Seluruh Dosen serta Staf di Jurusan Teknik Mesin UNS, yang telah turut mendidik dan membantu penulis hingga menyelesaikan studi S1.

commit to user

8. Bapak, Ibu dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan do'a restu, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.
9. Teman-teman Skripsi *Heat Exchanger*, Dito , Ekky , Novita dan Mas himawan yang telah menemani penulis baik dalam keadaan suka maupun duka.
10. Teman-teman teknik mesin angkatan 2009 beserta kakak dan adik angkatan di teknik mesin UNS.
11. Teman-teman dan Sahabat-sahabat yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang sudah memberikan dukungan moral dalam penyusunan skripsi saya
12. Semua pihak yang telah membantu dalam melaksanakan dan menyusun laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua dan bagi penulis pada khususnya.

Surakarta, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Halaman Surat Penugasan.....	ii
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Motto.....	iv
Halaman Persembahan	v
Abstrak	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Persamaan	xvi
Daftar Notasi	xix
Daftar Lampiran	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Dan Manfaat	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori	10
2.2.1. Dasar perpindahan panas	10
2.2.2. Aliran dalam sebuah pipa (<i>internal flow in tube</i>)	11
2.2.2.1. Kondisi aliran	11
2.2.2.2. Kecepatan rata-rata (<i>mean velocity</i>)	13
2.2.3. Lapis Batas (<i>boundary layer</i>)	14
2.2.3.1. Lapis Batas Kecepatan (<i>velocity boundary layer</i>)	14

2.2.3.2. Lapis Batas Termal (thermal boundary layer)	17
2.2.4. Penukar Kalor.....	20
2.2.5. Parameter Tanpa Dimensi	24
2.2.6. Teknik Peningkatan Perpindahan Panas Pada Penukar kalor.....	25
2.2.6.1. Vortex Generator	27
2.2.6.2. Longitudinal tape Insert	30
2.2.7. Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan	31
2.2.7.1. Korelasi perpindahan panas dan faktor gesekan di daerah aliran laminar dan turbulen melalui sebuah pipa bulat halus ...	31
2.2.7.2. Karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik.	30
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat Penelitian	43
3.2. Bahan Penelitian	43
3.3. Skema Alat Penelitian	43
3.4. Alat dan Instrumentasi Penelitian	46
3.5. Diagram Alir Penelitian	57
3.6. Prosedur Penelitian	58
3.6.1. Tahap persiapan	58
3.6.2. Pengujian penukar kalor tanpa <i>tape insert</i> (<i>plain tube</i>)	58
3.6.3. Pengujian penukar kalor dengan <i>tape insert</i>	59
3.7. Metode Analisis Data	61
BAB IV DATA DAN ANALISIS	
4.1. Data Hasil Pengujian	62
4.2. Perhitungan Data	62
4.2.1. Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM untuk <i>plain tube</i>	63

4.2.2. Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM untuk <i>longitudinal tape insert</i> (L-T)	69
4.2.3. Perhitungan unjuk kerja termal	80
4.2.3.1. Contoh perhitungan unjuk kerja termal pada T-W with F-W variasi P/W dan variasi w/W)	80
4.3. Analisis Data	89
4.3.1. Validasi karakteristik perpindahan panas <i>plain tube</i>	89
4.3.2. Validasi Karakteristik Faktor Gesekan Plain Tube...	90
4.3.3. Pengaruh <i>wing pitch ratio</i> dari T-W with F-wing.....	90
4.3.3.1. Pengaruh <i>wing pitch ratio</i> terhadap karakteristik perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	90
4.3.3.2. Pengaruh <i>wing pitch ratio</i> terhadap karakteristik faktor gesekan penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	92
4.3.3.3. Pengaruh <i>wing pitch ratio</i> terhadap karakteristik efektifnes penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	95
4.3.3.4. Pengaruh <i>wing pitch ratio</i> terhadap karakteristik unjuk kerja termal penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	96
4.3.4 Pengaruh <i>wing width ratio</i> dari T-W with F-Wing	98
4.3.4.1. Pengaruh <i>wing width ratio</i> terhadap karakteristik perpindahan panas penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	98
4.3.4.2. Pengaruh <i>wing width ratio</i> terhadap karakteristik faktor gesekan penukar kalor dengan penambahan T-W with F-Wing	100

4.3.4.3. Pengaruh <i>wing width ratio</i> terhadap karakteristik efektifitas penukar kalor dengan penambahan <i>T-W with F-Wing</i>	102
4.3.4.4. Pengaruh <i>wing width ratio</i> terhadap karakteristik unjuk kerja termal penukar kalor dengan penambahan <i>T-W with F-Wing</i>	104
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	105
5.2. Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	105



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Tabel hasil perhitungan karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan <i>plain tube</i>	74
Tabel 4.2. Tabel hasil perhitungan karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pipa dalam dengan penambahan L-T dan T-W with F-Wing.....	75
Tabel 4.3. Tabel hasil perhitungan daya pemompaan pada <i>plain tube</i> dan pipa dalam dengan sisipan L-T dan T-W with F-Wing ...	79
Tabel 4.4. Rekapitulasi perhitungan nilai unjuk kerja termal untuk L-T dan T-W with F-Wing variasi $P/W = 1,18; 1,42$ dan $1,65$	87
Tabel 4.5. Rekapitulasi perhitungan nilai unjuk kerja termal untuk L-T dan T-W with F-Wing variasi $w/W = 0,31; 0,47$ dan $0,63$	88

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Ilustrasi jenis-jenis perpindahan panas	11
Gambar 2.2. Perkembangan profil kecepatan dan perubahan tekanan pada saluran masuk aliran pipa.....	12
Gambar 2.3. Profil temperatur aktual dan rata – rata pada aliran dalam pipa	14
Gambar 2.4. Lapis batas kecepatan dan profil kecepatan laminar, transisi dan turbulen aliran fluida melewati plat datar	14
Gambar 2.5. Ketebalan lapis batas kecepatan	15
Gambar 2.6. Lapis batas termal di atas plat datar (permukaan plat lebih panas daripada fluida).....	17
Gambar 2.7. Lapis batas termal di atas plat datar (fluida lebih panas daripada permukaan plat datar)	17
Gambar 2.8. Fluk panas pada permukaan plat datar	18
Gambar 2.9. Lapis batas termal fluida dingin melalui plat panas.....	19
Gambar 2.10. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor searah.....	20
Gambar 2.11. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor berlawanan arah	21
Gambar 2.12. Penukar kalor pipa konsentrik.....	22
Gambar 2.13. Analogi listrik untuk perpindahan panas pada penukar kalor pipa konsentrik	23
Gambar 2.14. <i>Streamwise vortices</i>	27
Gambar 2.15. Pembangkitan vorteks longitudinal menggunakan <i>rectangular winglet</i>	28
Gambar 2.16. <i>Vortex generators</i> berupa <i>wing</i> dan <i>winglet</i> ($b = \text{wing span}$, $c = \text{wing cord}$, $\alpha = \text{sudut serang/angle of attack}$)	29
Gambar 2.17. Penyisipan <i>longitudinal tape insert</i> dalam sebuah pipa bulat	30
Gambar 2.18. Pola aliran berupa sel-sel vorteks yang simetris yang dihasilkan oleh <i>longitudinal tape insert</i> pada $Re = 100$	31

Gambar 2.19. Efektivenes penukar kalor pipa ganda aliran berlawanan arah	40
Gambar 3.1. Skema pengujian penukar kalor pipa konsentrik dengan <i>double sided delta wing tape insert</i> susunan <i>forward wing</i>	43
Gambar 3.2. Gambar alat penelitian.....	44
Gambar 3.3. Skema pengukuran temperatur di penukar kalor.....	45
Gambar 3.4. Skema penukar kalor pipa konsentrik satu laluan dengan <i>double sided delta wing tape insert</i>	47
Gambar 3.5. Penukar kalor pipa konsentrik satu laluan.....	47
Gambar 3.6. Nomenklatur <i>double sided wing tape insert</i> (T-W).....	49
Gambar 3.7. Skema <i>double-sided delta wing tape insert</i> di pipa dalam dengan susunan <i>forward wing</i> (T-W with F-wing)	50
Gambar 3.8. <i>Longitudinal tape insert</i>	50
Gambar 3.9. <i>Double sided delta wing tape insert</i> variasi <i>wing-pitch ratio</i> (P/W) pada $w/W = 0,63$, $l = 8$ mm dan $\alpha = 45^\circ$	51
Gambar 3.10. <i>Double sided delta wing tape insert</i> variasi <i>wing-width ratio</i> (w/W) pada $P/W = 1,18$, $l = 8$ mm dan $\alpha = 45^\circ$	51
Gambar 3.11 (a) Gambar detail <i>flange</i> , (b) <i>flange</i> setelah dilakukan proses pembubutan	52
Gambar 3.12 Skema pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar di <i>inner tube</i> dan di <i>annulus</i>	53
Gambar 3.13 Skema pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur dinding luar pipa dalam.....	53
Gambar 3.14 <i>Thermocouple reader</i>	53
Gambar 3.15 <i>Temperature controller</i>	54
Gambar 3.16 Pemanas air elektrik	54
Gambar 3.17 Rotameter	55
Gambar 3.18 Penjebak air	56
Gambar 4.1. Skema pipa dalam dan pipa luar penukar kalor pipa konsentrik <i>commit to user</i>	63

Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara Re dengan W_{pump} variasi P/W	80
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara Re dengan W_{pump} variasi w/W	82
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara h_i dengan Re variasi P/W	83
Gambar 4.5.	Grafik hubungan antara h_i dengan Re variasi w/W	85
Gambar 4.6.	Grafik hubungan Nu_i dengan Re untuk <i>plain tube</i>	89
Gambar 4.7.	Grafik hubungan f dengan Re untuk <i>plain tube</i>	90
Gambar 4.8.	Grafik hubungan Nu_i dengan Re untuk variasi P/W	91
Gambar 4.9.	Grafik hubungan ΔP dengan Re untuk variasi P/W	93
Gambar 4.10.	Grafik hubungan f dengan Re untuk variasi P/W	94
Gambar 4.11.	Grafik hubungan ε dengan Re untuk variasi P/W	95
Gambar 4.12.	Grafik hubungan η dengan Re untuk variasi P/W	97
Gambar 4.13.	Grafik hubungan Nu_i dengan Re untuk variasi w/W	98
Gambar 4.14.	Grafik hubungan ΔP dengan Re untuk variasi w/W	100
Gambar 4.15.	Grafik hubungan f dengan Re untuk variasi w/W	101
Gambar 4.16.	Grafik hubungan ε dengan Re untuk variasi w/W	103
Gambar 4.17.	Grafik hubungan η dengan Re untuk variasi w/W	104

DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan (2.1) Bilangan Reynolds untuk pipa bulat	11
Persamaan (2.2) Diameter hidrolik	12
Persamaan (2.3) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran laminar	13
Persamaan (2.4) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran transisi	13
Persamaan (2.5) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran turbulen	13
Persamaan (2.6) Laju aliran massa	13
Persamaan (2.7) Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida	14
Persamaan (2.8) Tegangan geser.....	15
Persamaan (2.9) Bilangan Reynolds	16
Persamaan (2.10) Hukum Fourier	18
Persamaan (2.11) Perpindahan panas konveksi	18
Persamaan (2.12) Tahanan termal total pada penukar kalor konsentrik	18
Persamaan (2.13) Laju perpindahan panas antara dua fluida	18
Persamaan (2.14) Bilangan Nusselt.....	19
Persamaan (2.15) Bilangan Nusselt.....	19
Persamaan (2.16) Bilangan Nusselt.....	19
Persamaan (2.17) Laju perpindahan panas di <i>annulus</i>	21
Persamaan (2.18) laju perpindahan panas di dalam pipa dalam.....	21
Persamaan (2.19) laju perpindahan panas	21
Persamaan (2.20) Beda temperatur rata-rata logaritmik (ΔT_{LMTD})	22
Persamaan (2.21) Tahanan termal total	23
Persamaan (2.22) Laju perpindahan panas antara dua fluida	24
Persamaan (2.23) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i>	24
Persamaan (2.24) Perbandingan kedua gaya	24
Persamaan (2.25) Bilangan Prandtl	25
Persamaan (2.26) Bilangan Nusselt.....	25
Persamaan (2.27) temperatur dinding yang konstan (<i>constant wall temperature</i>)	31
Persamaan (2.28) Faktor gesekan Darcy (<i>Darcy friction factor</i>)	31

Persamaan (2.29) Persamaan Petukhov pertama (<i>first Petukhov equation</i>).....	32
Persamaan (2.30) Korelasi Dittus-Boelter.....	32
Persamaan (2.31) persamaan Petukhov kedua (<i>second Petukhov equation</i>).....	32
Persamaan (2.32) Persamaan Gnielinski	32
Persamaan (2.33) Persamaan Colebrook.....	33
Persamaan (2.34) Persamaan Miller.....	33
Persamaan (2.35) Persamaan Blasius	33
Persamaan (2.36) Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam	33
Persamaan (2.37) laju perpindahan panas di <i>annulus</i>	34
Persamaan (2.38) Temperatur rata-rata dinding luar pipa dalam	34
Persamaan (2.39) Temperatur fluida rata-rata <i>bulk</i> dingin di <i>annulus</i>	34
Persamaan (2.40) Ketidaksetimbangan energi (<i>heat balance error</i>).	35
Persamaan (2.41) Ketidaksetimbangan energi dari penukar kalor.....	35
Persamaan (2.42) Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata.....	35
Persamaan (2.43) Bilangan Nusselt rata-rata di sisi <i>annulus</i>	35
Persamaan (2.44) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i>	35
Persamaan (2.45) Beda temperatur rata-rata logaritmik berlawanan arah (<i>counter-flow</i>).....	36
Persamaan (2.46) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i>	36
Persamaan (2.47) Penjabaran dari persamaan (2.36), (2.44) dan (2.45) .	36
Persamaan (2.48) Penjabaran Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> dari persamaan (2.47)	36
Persamaan (2.49) Koefisien perpindahan panas rata-rata di sisi pipa dalam	36
Persamaan (2.50) Bilangan Nusselt rata-rata pada sisi pipa dalam.....	36
Persamaan (2.51) Bilangan Reynolds (Re) aliran fluida di pipa dalam ..	36
Persamaan (2.52) Penjabaran dari persamaan (2.51)	36
Persamaan (2.53) Kapasitas panas (<i>heat capacity rate</i>) C_h	37
Persamaan (2.54) Kapasitas panas (<i>heat capacity rate</i>) C_c	37
Persamaan (2.55) Penjabaran persamaan (2.36) Q_h	37

Persamaan (2.56) Penjabran persamaan (2.37) Q_c	37
Persamaan (2.57) Efektivenes penukar kalor	38
Persamaan (2.58) Laju perpindahan panas aktual	38
Persamaan (2.59) Perbedaan temperatur maksimum	38
Persamaan (2.60) Laju perpindahan panas maksimum	38
Persamaan (2.61) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil.....	38
Persamaan (2.62) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil.....	38
Persamaan (2.63) Laju perpindahan panas aktual	38
Persamaan (2.64) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah.....	39
Persamaan (2.65) <i>Number of transfer units</i>	39
Persamaan (2.66) Rasio kapasitas.....	39
Persamaan (2.67) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah.....	39
Persamaan (2.68) Penurunan tekanan untuk semua jenis <i>internal flow</i> ..	40
Persamaan (2.69) Penurunan tekanan	40
Persamaan (2.70) Faktor gesekan.....	41
Persamaan (2.71) Daya pemompaan	41
Persamaan (2.72) Daya pemompaan konstan.....	41
Persamaan (2.73) Hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds	41
Persamaan (2.74) Unjuk kerja termal.....	42

DAFTAR NOTASI

A_c	= Luas penampang melintang aliran	(m ²)
A_i	= Luas permukaan dalam pipa dalam	(m ²)
A_o	= Luas permukaan luar pipa dalam	(m ²)
A_s	= Luas perpindahan panas	(m ²)
$A_{t,i}$	= Luas penampang pipa dalam	(m ²)
$C_{p,c}$	= Panas jenis fluida dingin di <i>annulus</i>	(kJ/kg.°C)
$C_{p,h}$	= Panas jenis fluida panas di dalam pipa dalam	(kJ/kg.°C)
D_i	= Diameter dalam pipa luar	(m)
D_o	= Diameter luar pipa luar	(m)
D_h	= Diameter hidrolik <i>annulus</i>	(m)
L	= Panjang pipa dalam	(m)
L_t	= Panjang jarak titik pengukuran beda tekanan di pipa dalam	(m)
$L-T$	= <i>Longitudinal tape insert</i>	
Nu_i	= Bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam	
Nu_o	= Bilangan Nusselt rata-rata di sisi <i>annulus</i>	
Pr	= Bilangan Prandtl	
P	= <i>Wing pitch</i>	(m)
Q	= Laju perpindahan panas	(W)
Q_c	= Laju perpindahan panas di <i>annulus</i>	(W)
Q_h	= Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam	(W)
Re	= Bilangan Reynolds	
Re_d	= Bilangan Reynolds berdasarkan diameter dalam pipa	
$T_{c,i}$	= Temperatur fluida dingin masuk <i>annulus</i>	(°C)
$T_{c,o}$	= Temperatur fluida dingin keluar <i>annulus</i>	(°C)
$T_{h,i}$	= Temperatur fluida panas masuk pipa dalam	(°C)
$T_{h,o}$	= Temperatur fluida panas keluar pipa dalam	(°C)
$T_{b,i}$	= Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida di dalam pipa dalam	(°C)
$T_{b,o}$	= Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida dingin di <i>annulus</i>	(°C)
$\bar{T}_{w,o}$	= Temperatur rata-rata dinding luar pipa dalam	(°C)
$T-W$	= <i>Double sided delta wing tape insert</i>	

U	= Koefisien perpindahan panas overall	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
U_i	= Koefisien perpindahan panas overall berdasarkan permukaan dalam pipa dalam	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
ν	= Viskositas kinematis fluida di pipa dalam	(m^2/s)
V	= Kecepatan rata-rata fluida di pipa dalam	(m/s)
\dot{V}	= Laju aliran volumetrik fluida di pipa dalam	(m^3/s)
W	= Lebar <i>tape</i> (<i>tape width</i>)	(m)
d_i	= Diameter dalam pipa dalam	(m)
d_o	= Diameter luar pipa dalam	(m)
f	= Faktor gesekan	
g	= Percepatan gravitasi	(m/s^2)
h_i	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di pipa dalam	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
h_o	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di <i>annulus</i>	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
h_p	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata tanpa <i>tape insert</i> (<i>plain tube</i>)	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
h_s	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dengan <i>tape insert</i>	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$
k_i	= Konduktivitas termal material dinding pipa dalam	$(W/m \cdot ^\circ C)$
k_o	= Konduktivitas termal rata-rata fluida dingin di <i>annulus</i>	$(W/m \cdot ^\circ C)$
l	= <i>Wing cord</i> atau tinggi sayap (<i>wing height</i>)	(m)
\dot{m}_c	= Laju aliran massa fluida dingin di <i>annulus</i>	(kg/s)
\dot{m}_h	= Laju aliran massa fluida panas di pipa dalam	(kg/s)
p	= <i>Plain tube</i> (pipa tanpa <i>tape insert</i>)	
pp	= Daya pemompaan konstan	
s	= <i>Swirl generator</i> (pipa dengan <i>tape insert</i>)	
t	= Tebal <i>tape insert</i>	(m)
u_c	= Kecepatan aksial rata-rata fluida	(m/s)
u_m	= Kecepatan rata-rata fluida	(m/s)
w	= <i>Wing span</i> atau lebar sayap (<i>wing width</i>)	(m)
Δh	= Beda ketinggian fluida manometer	(m)
ΔP	= Penurunan tekanan di pipa dalam	(Pa)

commit to user

ΔT_1	= Perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi <i>inlet</i> penukar kalor	(°C)
ΔT_2	= Perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi <i>outlet</i> penukar kalor	(°C)
ΔT_{LMTD}	= Beda temperatur rata-rata logaritmik (<i>logaritmik mean temperature different</i>)	(°C)
μ	= Viskositas dinamik fluida	(kg/m.s)
μ_i	= Viskositas dinamik fluida di pipa dalam	(kg/m.s)
μ_o	= Viskositas dinamik fluida di <i>annulus</i>	(kg/m.s)
α	= Sudut serang (<i>angle of attack</i>)	(°)
η	= Unjuk kerja termal	
ρ_h	= Densitas fluida di pipa dalam	(kg/m ³)
ρ_c	= Densitas fluida di <i>annulus</i>	(kg/m ³)
ρ_m	= Densitas fluida manometer	(kg/m ³)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data hasil eksperimen	108
Lampiran 2. Tabel konduktivitas termal material.....	147
Lampiran 3. Properties air.....	148

