

**PENGUJIAN KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR  
GESEKAN PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK SALURAN  
ANNULAR DENGAN *TWISTED TAPE INSERT WITH CENTRE WINGS***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**



**Oleh:**

**INDRA WIJAYA**

**NIM. I0408038**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

**2013**

*commit to user*

**PENGUJIAN KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK SALURAN ANNULAR DENGAN *TWISTED TAPE INSERT WITH CENTRE WINGS***

Disusun oleh :

Indra Wijaya  
NIM. I0408038

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 Selasa, tanggal 12 November 2013

1. Dr. Dwi Aries Himawanto, ST., MT .....  
NIP. 197403262000031001
2. Purwadi Joko Widodo, ST., M. Kom .....  
NIP. 197301261997021001

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Didik Djoko Susilo, ST., MT  
NIP . 197203131997021001

Koordinator Tugas Akhir

Wahyu Purwo R.,ST, MT.  
NIP. 197202292000121001

*commit to user*

## MOTTO

"My mother without me is still a mother but me without my mother is nothing."  
(indra wijaya)

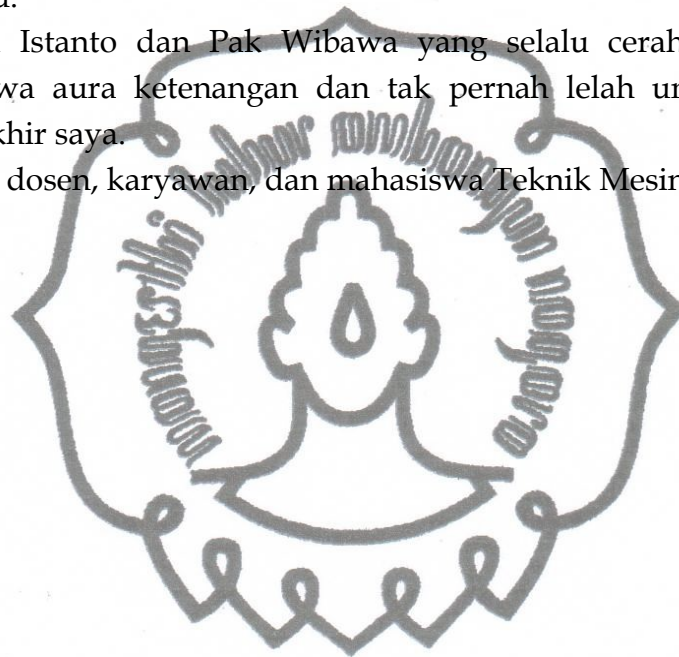


*commit to user*

## PERSEMBAHAN

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

1. Kasih sayang dan cinta yang tak pernah putus dari Bapak, Ibu, serta Kakak tercinta. Kasih sayang kalian tak akan pernah kulupakan sepanjang hidupku.
2. Pak Tri Istanto dan Pak Wibawa yang selalu cerah ceria dan selalu membawa aura ketenangan dan tak pernah lelah untuk membimbing tugas akhir saya.
3. Seluruh dosen, karyawan, dan mahasiswa Teknik Mesin UNS.



**Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan  
Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Annular  
Dengan *Twisted Tape Insert With Centre Wings***

**Indra Wijaya**

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta, Indonesia

E-mail : arverroes@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pada penukar kalor pipa konsentrik saluran *annular* dengan penambahan *twisted tape insert with centre wings*. Aliran di pipa dalam dan *annulus* adalah berlawanan arah. Fluida kerja di pipa dalam adalah air panas, dimana temperatur masukannya dipertahankan pada 60°C, sedangkan fluida kerja di *annulus* adalah air dingin dengan temperatur masukannya  $\pm 27^\circ\text{C}$ . Untuk perbandingan, pipa dalam diuji tanpa *twisted tape insert (plain tube)* dan dengan penambahan *classic twisted tape insert*. *Classic twisted tape insert* dan *twisted tape insert with centre wings* terbuat dari bahan *aluminium strip* dengan tebal 0,7 mm, lebar 12,6 mm dimana mempunyai *twist ratio* 3,8 dan panjang *pitch* sebesar 48 mm. *Twisted tape insert with centre wings* divariasi sudut serang sayap,  $\beta = 35^\circ, 60^\circ$  dan  $85^\circ$ , dengan panjang *wing* (*l*) 7 mm dan lebar (*w*) *wing* 7 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pipa dalam dengan penambahan *twisted tape insert with centre wings* dengan sudut serang sayap  $\beta = 85^\circ$  menghasilkan bilangan Nusselt, penurunan tekanan, faktor gesekan dan unjuk kerja termal paling besar. Pada bilangan Reynolds yang sama (5.500-20.500), penambahan *twisted tape insert with centre wings* dengan sudut serang sayap,  $\beta = 35^\circ, 60^\circ$  dan  $85^\circ$  di pipa dalam meningkatkan bilangan Nusselt rata-rata berturut-turut sebesar 19,21%, 27,80% dan 47,90% dibandingkan dengan *classic twisted tape insert*. Pada daya pemompaan yang sama, penambahan *twisted tape insert with centre wings* dengan sudut serang sayap,  $\beta = 35^\circ, 60^\circ$  dan  $85^\circ$  di pipa dalam meningkatkan bilangan Nusselt rata-rata berturut-turut sebesar 6,41%, 9,86% dan 20,47% dibandingkan dengan *classic twisted tape insert*. Pada bilangan Reynolds yang sama (5.500-18.500), penambahan *twisted tape insert with centre wings* dengan sudut serang sayap,  $\beta = 35^\circ, 60^\circ$  dan  $85^\circ$  di pipa dalam menghasilkan faktor gesekan rata-rata berturut-turut sebesar 1,29; 1,30 dan 1,53 kali lebih tinggi dibandingkan dengan *classic twisted tape insert*. Penambahan *classic twisted tape insert* dan *twisted tape insert with centre wings* dengan sudut serang sayap,  $\beta = 35^\circ, 60^\circ$  dan  $85^\circ$  di pipa dalam menghasilkan unjuk kerja termal rata-rata berturut-turut sebesar 1,11; 1,18; 1,21 dan 1,33.

Kata kunci :bilangan Nusselt, bilangan Reynolds, faktor gesekan, sudut serang sayap, *twisted tape insert with centre wings*.

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

**Indra Wijaya**

Departement of Mechanical Engineering  
Engineering Faculty of Sebelas Maret University  
Surakarta, Indonesia  
E-mail : arverroes@gmail.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 twisted tape insert with centre 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 twisted tape insert with centre wings made of aluminum strip with a thickness of 0.7 mm, width 12.6 mm, which had a twist ratio of 3.8 and the pitch length of 48 mm. The attack angle of twisted tape with centre wings ( $\beta$ ) was varied at 35°, 60° and 85°.

The research result showed that the inner tube with the addition of twisted tape insert with centre wings at the attack angle of wing,  $\beta = 85^\circ$  produced the highest Nusselt number, pressure drop, friction factor and thermal performance. At the same Reynolds number (5,500-20,500), the addition of twisted tape insert with centre wings with the attack angle of wing,  $\beta = 35^\circ$ , 60° and 85° into the inner tube increased the average Nusselt numbers were 19.21%, 27.80% and 47.90% compared to classic twisted tape insert, respectively. At the same pumping power, the addition of twisted tape insert with centre wings with the attack angle of wing,  $\beta = 35^\circ$ , 60° and 85° into the inner tube increased the average Nusselt numbers were 6.41%, 9.86% and 20.47% compared to classic twisted tape insert, respectively. At the same Reynolds number (5,500-18,500), the addition of twisted tape insert with centre wings with the attack angle of wing,  $\beta = 35^\circ$ , 60° and 85° into the inner tube tube has produced the average friction factor of 1.29; 1.30 and 1.53 times higher than compared to classic twisted tape insert, respectively. The addition of classic twisted tape insert and twisted tape insert with centre wings with the attack angle of wing,  $\beta = 35^\circ$ , 60° and 85° into the inner tube has produced the average thermal performance of 1.11; 1.18; 1.30 and 1.34, respectively.

Keywords: Nusselt number, Reynolds number, friction factor, attack angle of wing, twisted tape insert with centre wings



## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi “Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Annular Dengan *Twisted Tape Insert With Centre Wings*” 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 :

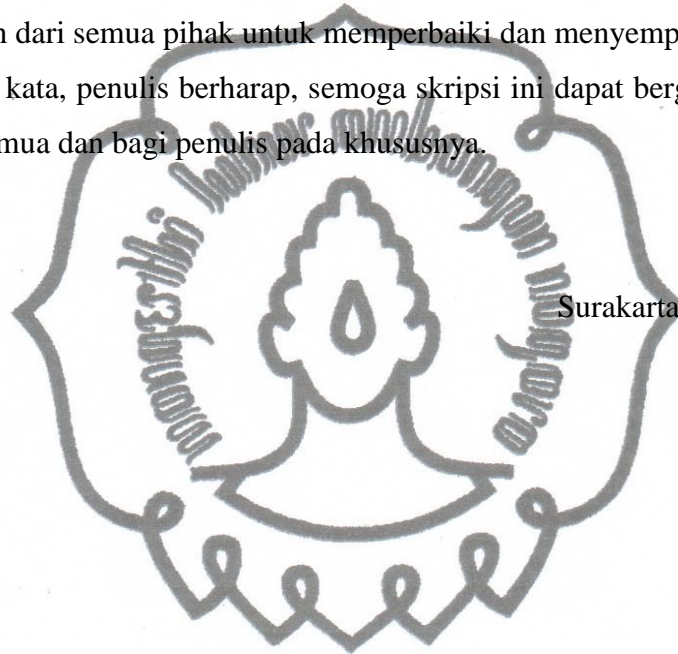
1. Bapak Didik Djoko Susilo, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNS Surakarta.
2. Bapak Tri Istanto, ST, MT, selaku Pembimbing I atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
3. Bapak Wibawa Endra J., ST, MT, selaku Pembimbing II yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
4. Bapak Dr. Dwi Aries Himawanto, ST., MT, dan bapak Purwadi Joko Widodo, ST., M. Kom, selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberi saran yang membangun.
5. Bapak Heru Sukanto ST, MT, selaku Pembimbing Akademis yang telah menggantikan sebagai orang tua penulis dalam menyelesaikan studi di Universitas Sebelas Maret ini.
6. Bapak Wahyu Purwo Raharjo, 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.
8. Bapak, Ibu dan seluruh keluarga yang telah memberikan do’a restu, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.

*commit to user*

9. Teman-teman Skripsi *Heat Exchanger*, Farica, Heri, dan Rahnad yang telah menemani penulis baik dalam keadaan suka maupun duka.
10. Teman-teman teknik mesin angkatan 2008 beserta kakak dan adik angkatan di teknik mesin UNS.
11. 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, November 2013

Penulis



	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
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Dan Manfaat .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Teori .....	9
2.2.1. Dasar perpindahan panas .....	9
2.2.2. Aliran dalam sebuah pipa ( <i>internal flow in tube</i> ) .....	10
2.2.2.1. Kondisi aliran .....	10
2.2.2.2. Kecepatan rata-rata ( <i>mean velocity</i> ) .....	12
2.2.2.3. Temperatur rata-rata .....	12
2.2.2.4. Penukar kalor .....	13
2.2.2.5. Parameter tanpa dimensi .....	17

*commit to user*

2.2.2.6. Teknik peningkatan perpindahan panas pada penukar kalor .....	18
2.2.2.7. Sisipan pita terpilin ( <i>twisted tape insert</i> ) ...	23
2.2.2.8. Karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Tempat Penelitian .....	38
3.2. Bahan Penelitian .....	38
3.3. Alat Penelitian .....	38
3.4. Prosedur Penelitian .....	44
3.4.1. Tahap persiapan .....	45
3.4.2. Tahap pengujian .....	45
3.4.3. Pengujian penukar kalor tanpa <i>twisted tape insert</i> ( <i>plain tube</i> ) .....	45
3.4.4. Pengujian penukar kalor dengan <i>twisted tape insert</i> .....	46
3.5. Metode Analisis Data .....	48
3.6. Diagram Alir Penelitian .....	50
<b>BAB IV DATA DAN ANALISIS</b>	
4.1. Data Hasil Pengujian .....	53
4.2. Perhitungan Data .....	53
4.2.1. Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM pada variasi tanpa <i>twisted tape insert</i> ( <i>plain tube</i> ) .....	54
4.2.2. Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM pada variasi <i>classic twisted tape insert</i> .....	57
4.2.3. Daya pemompaan .....	61
4.2.4. Menentukan $Re$ , $h_i$ , $\eta$ , $Nu_i$ , $f$ , $\varepsilon$ , $\Delta P$ , pada daya pemompaan yang sama .....	67
4.3. Analisis Data .....	74
4.3.1. Uji validitas pipa dalam tanpa <i>twisted tape insert</i> ( <i>plain tube</i> ) .....	77

4.3.2. Pengaruh bilangan Reynolds dan <i>twisted tape insert</i> terhadap karakteristik perpindahan panas .....	79
4.3.3. Pengaruh penambahan <i>twisted tape insert</i> terhadap rasio bilangan Nusselt .....	84
4.3.4. Pengaruh penambahan <i>twisted tape insert</i> terhadap unjuk kerja termal ( $\eta$ ) .....	87
4.3.5. Pengaruh penambahan <i>twisted tape insert</i> terhadap efektivitas penukar kalor ( $\epsilon$ ) .....	87
4.3.6. Pengaruh bilangan Reynolds dan <i>twisted tape insert</i> terhadap penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) .....	88
4.3.7. Pengaruh bilangan Reynolds dan <i>twisted tape insert</i> terhadap faktor gesekan ( $f$ ) .....	91
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan .....	94
5.2. Saran .....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 4.1. Data pengujian daya pemompaan penukar kalor saluran <i>annular</i> dengan <i>twisted tape insert</i> dan tanpa <i>twisted tape insert (plain tube)</i> .....	66
Tabel 4.2. Data pengujian penukar kalor saluran <i>annular</i> dengan <i>twisted tape insert</i> dan tanpa <i>twisted tape insert</i> pada daya pemompaan yang sama.....	75



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Ilustrasi jenis-jenis perpindahan panas.....	10
Gambar 2.2. Perkembangan profil kecepatan dan perubahan tekanan pada saluran masuk aliran pipa .....	11
Gambar 2.3. Profil temperatur aktual dan rata – rata pada aliran dalam pipa .....	12
Gambar 2.4. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor searah .....	13
Gambar 2.5. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor berlawanan arah .....	14
Gambar 2.6. Penukar kalor pipa konsentrik .....	15
Gambar 2.7. Analogi listrik untuk perpindahan panas pada penukar kalor pipa konsentrik .....	16
Gambar 2.8. Konfigurasi geometri sebuah <i>twisted tape insert</i> .....	24
Gambar 2.9. Skema pengujian penukar kalor pipa konsentrik dengan <i>twisted tape insert</i> .....	25
Gambar 2.10. Efektivitas penukar kalor pipa ganda aliran berlawanan ..	35
Gambar 3.1. Skema penukar kalor pipa konsentrik satu laluan dengan <i>twisted tape insert</i> .....	39
Gambar 3.2. Penukar kalor pipa konsentrik satu laluan .....	39
Gambar 3.3. <i>Classic twisted tape insert</i> .....	40
Gambar 3.4. <i>Twisted tape insert with centre wings</i> ( = 35°).....	40
Gambar 3.5. <i>Twisted tape insert with centre wings</i> ( = 60°).....	40
Gambar 3.6. <i>Twisted tape insert with centre wings</i> ( = 85°).....	40
Gambar 3.7. Skema <i>twisted tape insert with centre wings</i> .....	41
Gambar 3.8. <i>Flange</i> .....	41
Gambar 3.9 Instalasi alat penelitian tampak depan .....	42
Gambar 4.1. Dimensi pipa dalam dan pipa luar penukar kalor pipa konsentrik saluran <i>annular</i> .....	54
Gambar 4.2. Grafik hubungan bilangan Reynolds di pipa dalam dengan daya pemompaan .. <i>commit to user</i> .....	67

Gambar 4.3. Grafik hubungan koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di pipa dalam dengan daya pemompaan .....	71
Gambar 4.4. Grafik hubungan bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam dengan daya pemompaan .....	73
Gambar 4.5. Grafik hubungan faktor gesekan di pipa dalam dengan daya pemompaan .....	74
Gambar 4.6. Grafik hubungan penurunan tekanan penukar kalor dengan daya pemompaan .....	76
Gambar 4.7. Grafik hubungan efektivitas penukar kalor dengan daya pemompaan .....	77
Gambar 4.8. Grafik hubungan $Nu$ dengan $Re$ untuk <i>plain tube</i> .....	77
Gambar 4.9. Grafik hubungan faktor gesekan ( $f$ ) dengan $Re$ untuk <i>plain tube</i> .....	77
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara $Nu_i$ dengan $Re$ .....	78
Gambar 4.11. Grafik hubungan antara $Nu_i$ aktual dan korelasi $Nu_i$ Manglik-Berges dengan $Re$ .....	79
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara $Nu_i$ dengan $Re$ pada daya pemompaan yang sama .....	83
Gambar 4.13. Hubungan $Nu/Nu_p$ dengan $Re$ .....	84
Gambar 4.14. Hubungan $Nu/Nu_p$ dengan $Re$ pada daya pemompaan yang sama .....	85
Gambar 4.15. Grafik hubungan $\eta$ dengan $Re$ .....	86
Gambar 4.16. Grafik hubungan $\varepsilon$ penukar kalor dengan $Re$ pada daya pemompaan yang sama .....	87
Gambar 4.17. Grafik hubungan $\Delta P$ dengan $Re$ .....	88
Gambar 4.18. Grafik hubungan $\Delta P$ dengan $Re$ pada daya pemompaan yang sama .....	90
Gambar 4.19. Grafik hubungan $f$ dengan $Re$ .....	91
Gambar 4.20. Grafik hubungan $f$ dengan $Re$ pada daya pemompaan yang sama .....	92



## DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan (2.1) Bilangan Reynolds untuk pipa bulat .....	10
Persamaan (2.2) Diameter hidrolis .....	11
Persamaan (2.3) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran laminar .....	11
Persamaan (2.4) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran transisi .....	12
Persamaan (2.5) Nilai bilangan Reynolds untuk aliran turbulen .....	12
Persamaan (2.6) Laju aliran massa .....	12
Persamaan (2.7) Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida .....	13
Persamaan (2.8) Laju perpindahan panas di <i>annulus</i> .....	14
Persamaan (2.9) Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam .....	14
Persamaan (2.10) Laju perpindahan panas .....	15
Persamaan (2.11) Beda temperatur rata-rata logaritmik .....	15
Persamaan (2.12) Tahanan termal total pada penukar kalor konsentrik	16
Persamaan (2.13) Laju perpindahan panas antara dua fluida .....	17
Persamaan (2.14) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> .....	17
Persamaan (2.15) Bilangan Reynolds .....	17
Persamaan (2.16) Bilangan Prantl .....	18
Persamaan (2.17) Bilangan Nusselt .....	18
Persamaan (2.18) <i>Twist ratio</i> .....	24
Persamaan (2.19) Sudut heliks .....	24
Persamaan (2.20) Bilangan Nusselt dibawah kondisi temperatur dinding yang konstan .....	26
Persamaan (2.21) Faktor gesekan Darcy .....	26
Persamaan (2.22) Faktor gesekan dengan persamaan Petukhov .....	26
Persamaan (2.23) Bilangan Nusselt dengan persamaan Dittus-Boelter .	26
Persamaan (2.24) Bilangan Nusselt dengan persamaan Pethukov .....	26
Persamaan (2.25) Bilangan Nusselt dengan persamaan Gnielinski .....	27
Persamaan (2.26) Faktor gesekan dengan persamaan Colebrook .....	27
Persamaan (2.27) Faktor gesekan dengan iterasi tunggal .....	27
Persamaan (2.28) Faktor gesekan dengan persamaan Blasius .....	28

Persamaan (2.29) Korelasi perpindahan panas untuk bilangan Nusselt .	28
Persamaan (2.30) Korelasi perpindahan panas Manglik dan Bergles ....	28
Persamaan (2.31) Penjabaran persamaan (2.30) .....	28
Persamaan (2.32) Laju perpindahan panas dari fluida panas di dalam pipa dalam .....	29
Persamaan (2.33) Laju perpindahan panas dari fluida dingin di <i>annulus</i>	29
Persamaan (2.34) Rata-rata temperatur dinding luar pipa dalam .....	30
Persamaan (2.35) Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida dingin di <i>annulus</i> ...	30
Persamaan (2.36) Ketidakseimbangan panas .....	30
Persamaan (2.37) Persentase kesalahan keseimbangan energi .....	30
Persamaan (2.38) Koefisien perpindahan panas rata-rata di <i>annulus</i> ....	30
Persamaan (2.39) Bilangan Nusselt rata-rata di sisi <i>annulus</i> .....	30
Persamaan (2.40) Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam .....	31
Persamaan (2.41) Nilai beda temperatur rata-rata logaritmik .....	31
Persamaan (2.42) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> .....	31
Persamaan (2.43) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> penjabaran persamaan (2.42) .....	31
Persamaan (2.44) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> penjabaran persamaan (2.43) .....	31
Persamaan (2.45) Koefisien perpindahan panas rata-rata di sisi pipa dalam .....	32
Persamaan (2.46) Bilangan Nusselt rata-rata pada sisi pipa dalam .....	32
Persamaan (2.47) Bilangan Reynolds .....	32
Persamaan (2.48) Bilangan Reynolds .....	32
Persamaan (2.49) Laju kapasitas panas fluida panas .....	32
Persamaan (2.50) Laju kapasitas panas fluida dingin .....	32
Persamaan (2.51) Laju perpindahan panas fluida panas .....	33
Persamaan (2.52) Laju perpindahan panas fluida dingin .....	33
Persamaan (2.53) Efektivitas penukar kalor .....	33
Persamaan (2.54) Laju perpindahan panas aktual dalam sebuah penukar kalor .....	33
Persamaan (2.55) Perbedaan temperatur maksimum .....	33

Persamaan (2.56) Laju perpindahan panas maksimum .....	34
Persamaan (2.57) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil .....	34
Persamaan (2.58) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil .....	34
Persamaan (2.59) Laju kapasitas panas aktual .....	34
Persamaan (2.60) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah .....	34
Persamaan (2.61) <i>Number of transfer units</i> .....	34
Persamaan (2.62) Rasio kapasitas.. .....	35
Persamaan (2.63) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah.....	35
Persamaan (2.64) Penurunan tekanan untuk semua jenis <i>internal flow</i> ..	35
Persamaan (2.65) Penurunan tekanan .....	36
Persamaan (2.66) Faktor gesekan.....	36
Persamaan (2.67) Daya pemompaan.....	36
Persamaan (2.68) Daya pemompaan konstan.....	37
Persamaan (2.69) Hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds	37
Persamaan (2.70) Unjuk kerja termal.....	37

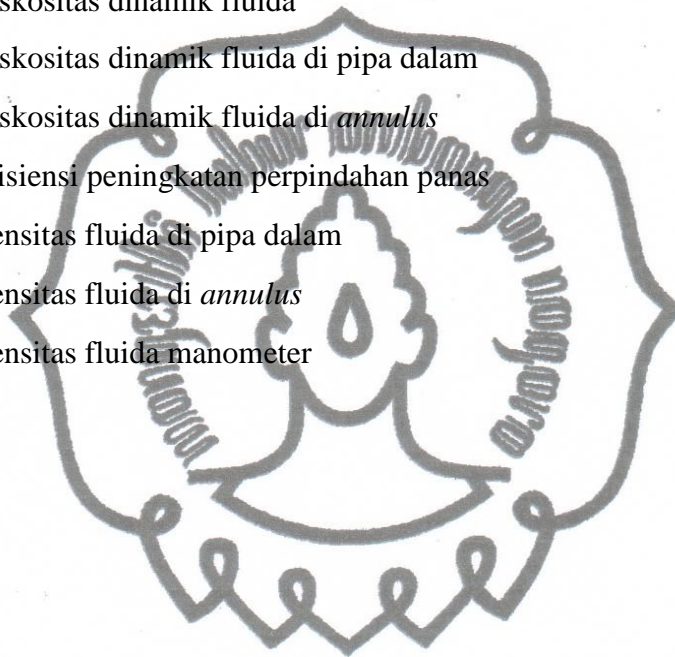
## DAFTAR NOTASI

$A_c$	= 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>	$(kJ/kg.^{\circ}C)$
$C_{p,h}$	= Panas jenis fluida panas di dalam pipa dalam	$(kJ/kg.^{\circ}C)$
$d_i$	= Diameter dalam pipa dalam	$(m)$
$d_o$	= Diameter luar pipa dalam	$(m)$
$D_h$	= Diameter hidrolik <i>annulus</i>	$(m)$
$D_i$	= Diameter dalam pipa luar	$(m)$
$D_o$	= Diameter luar pipa luar	$(m)$
$D_h$	= Diameter hidrolik <i>annulus</i>	$(m)$
$f$	= Faktor gesekan	
$g$	= Percepatan gravitasi	$(m/s^2)$
$H$	= Panjang <i>pitch twisted tape insert</i>	$(m)$
$h_i$	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di pipa dalam	$(W/m^2.^{\circ}C)$
$h_o$	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata di <i>annulus</i>	$(W/m^2.^{\circ}C)$
$h_p$	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata tanpa <i>twisted tape insert</i>	$(W/m^2.^{\circ}C)$
$h_s$	= Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dengan <i>twisted tape insert</i>	$(W/m^2.^{\circ}C)$
$k_m$	= Konduktivitas termal material dinding pipa dalam	$(W/m.^{\circ}C)$
$k_o$	= Konduktivitas termal rata-rata fluida dingin di <i>annulus</i>	$(W/m.^{\circ}C)$
$L$	= Panjang pipa dalam	$(m)$
$l$	= Panjang <i>wing</i>	$(m)$
$L_t$	= Panjang jarak titik pengukuran beda tekanan di pipa dalam	$(m)$
$\dot{m}_c$	= Laju aliran massa fluida dingin di <i>annulus</i>	$(kg/s)$
$\dot{m}_h$	= Laju aliran massa fluida panas di dalam pipa dalam	$(kg/s)$
$Nu_i$	= Bilangan Nusselt rata-rata di pipa dalam	

$Nu_o$	= Bilangan Nusselt rata-rata di sisi <i>annulus</i>	
$p$	= <i>Plain tube</i> (pipa tanpa <i>twisted tape insert</i> )	
$pp$	= Daya pemompaan konstan	
$Pr$	= Bilangan Prandtl	
$Q$	= 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	
$t$	= Tebal <i>twisted tape insert</i>	(m)
$T_{c,i}$	= 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)
$\bar{T}_{w,i}$	= Temperatur rata-rata dinding dalam pipa dalam	(°C)
$\bar{T}_{w,o}$	= Temperatur rata-rata dinding luar pipa dalam	(°C)
$U$	= Koefisien perpindahan panas overall	(W/m <sup>2</sup> .°C)
$u_m$	= Kecepatan rata-rata fluida	(m/s)
$s$	= <i>Swirl generator</i> (pipa dengan <i>twisted tape insert</i> )	
$Sw$	= <i>Swirl number</i>	
$U_i$	= Koefisien perpindahan panas overall berdasarkan permukaan dalam pipa dalam	(W/m <sup>2</sup> .°C)
$\nu$	= Viskositas kinematis fluida di pipa dalam	(m <sup>2</sup> /s)
$V$	= Kecepatan rata-rata fluida di pipa dalam	(m/s)
$w$	= Lebar <i>wing</i>	(m)
$W$	= Lebar <i>twist</i>	(m)
$\dot{V}$	= Laju aliran volumetrik fluida di pipa dalam	(m <sup>3</sup> /s)
$y$	= Panjang <i>pitch</i>	(m)
$\beta$	= Sudut serang sayap	(°)
$\theta$	= Sudut heliks	(°)

commit to user

$\Delta h$	= Beda ketinggian fluida manometer	(m)
$\Delta P$	= Penurunan tekanan di pipa dalam	(Pa)
$\Delta T_1$	= Perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi <i>inlet</i> kalor	(°C)
$\Delta T_2$	= Perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi <i>outlet</i> penukar kalor	(°C)
$\Delta T_{LMTD}$	= Beda temperatur rata-rata logaritmik ( <i>logarithmic mean temperature different</i> )	(°C)
$\mu$	= Viskositas dinamik fluida	(kg/m.s)
$\mu_i$	= Viskositas dinamik fluida di pipa dalam	(kg/m.s)
$\mu_o$	= Viskositas dinamik fluida di <i>annulus</i>	(kg/m.s)
$\eta$	= Efisiensi peningkatan perpindahan panas	
$\rho_h$	= Densitas fluida di pipa dalam	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_c$	= Densitas fluida di <i>annulus</i>	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_m$	= Densitas fluida manometer	(kg/m <sup>3</sup> )





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data hasil eksperimen

Lampiran B. Data hasil pengujian variasi laju aliran volumetrik air panas di pipa dalam

Lampiran C. Hasil perhitungan penukar kalor *plain tube* dan *twisted tape insert*

Lampiran D. Tabel konduktivitas termal material

Lampiran E. Properties air

