

**PENGARUH *WING PITCH RATIO* DAN *WING WIDTH RATIO* TERHADAP
KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA
PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK DENGAN *DOUBLE SIDED DELTA*
WING TAPE INSERT SUSUNAN *BACKWARD WING***

SKRIPSI

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



Oleh:

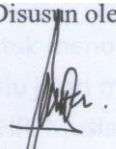
**HIMMAWAN SABDA MAULANA
NIM. I0407039**


**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2015

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH *WING PITCH RATIO* DAN *WING WIDTH RATIO* TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK DENGAN *DOUBLE SIDED DELTA WING TAPE INSERT* SUSUNAN *BACKWARD WING*

Disusun oleh :

Himmawan Sabda Maulana
NIM. 10407039

Dosen Pembimbing I

Tri Istikomah 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 28 Januari 2015


1. Eko Prasetyo B. ST., MT.
NIP. 197109261999031002
2. Dr. Eng. Syamsul Hadi. ST., MT.
NIP. 197106151998021002

.....


Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Didik Djoko Susilo, ST., MT.
NIP. 197203131997021001

Koordinator Tugas Akhir

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

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH *WING PITCH RATIO* DAN *WING WIDTH RATIO* TERHADAP
KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN FAKTOR GESEKAN PADA
PENUKAR KALOR PIPA KONSENTRIK DENGAN *DOUBLE SIDED DELTA*
WING TAPE INSERT SUSUNAN *BACKWARD WING***

Disusun oleh :

Himmawan Sabda Maulana
NIM. I0407039

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Tri Istanto, ST., MT.
NIP. 197308202000121001

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

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Rabu, tanggal 28 Januari 2015

1. Eko Prasetyo B., ST., MT.
NIP. 197109261999031002
2. Dr.Eng. Syamsul Hadi, ST., MT.
NIP. 197106151998021002

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Koordinator Tugas Akhir

Didik Djoko Susilo, ST., MT.
NIP. 197203131997021001

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

MOTTO

“Wa Ta’aawanu Alalbirri Wattaqwa”
Dan Tolong Menolonglah Dalam Kebajikan dan Takwa
(QS. Al Maidah 2)

“Barang siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah memudahkan
bagi orang itu jalan menuju surga”
(HR. Muslim)

“Man Jadda Wajada, Man Sobaro Dhofiro, Man Saaro Aladdarbi Washola”
Barang Siapa Bersungguh Maka Ia Akan Dapat
Barang Siapa Sabar Maka Ia Akan Beruntung
Barang Siapa Berjalan Pada Jalan Nya Maka Ia Sampai Pada Tujuan.
(Trilogi Negeri 5 Menara)

“Kesulitan yang datang sebelum kemudahan itu laksana lapar yang datang
sebelum adanya makanan. Sehingga letak kesulitan itu akan tepat beriringan
dengan datangnya kemudahan, dan makanan akan terasa lezat dimakan ketika
bersama rasa lapar”
(Bazerjamhar)

“Orang bijak akan menjadi majikan dari pikirannya, Orang bodoh akan jadi
budaknya”
(David J. Schwartz)

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, sholawat 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 Ayah, Ibu, serta 3 Adikku tercinta. Kasih sayang yang membuatku selalu tegar, selalu tersenyum dan selalu bersyukur telah dilahirkan diantara kalian.
4. Pak Tri Istanto dan Pak Wibawa yang selalu bijaksana dan sabar memberikan bimbingan kepada saya dan tak kenal lelah memotivasi dan mengobarkan optimisme yang sempat redup.
5. Seluruh dosen, karyawan, dan mahasiswa Teknik Mesin UNS.
6. Teman-teman KMTM, TMNT, BEM FT, kos Apartemen 38 yang selalu memberikan pengalaman baru yang mendewasakan.

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 Backward Wing

Himmawan Sabda Maulana

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta, Indonesia

E-mail : himmawan_maulana@yahoo.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 *backward wing* (T-W with B-Wing). Pada penelitian ini, P/W divariasi sebesar 1,18; 1,42; dan 1,65, sedangkan w/W divariasi sebesar 0,31; 0,47; 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 menggunakan sisipan T-W with B-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 B-Wing meningkat dengan penurunan nilai P/W dan kenaikan nilai w/W . Penukar kalor dengan penambahan sisipan T-W with B-Wing dengan nilai $P/W = 1,18$ dan nilai $w/W = 0,63$ menghasilkan bilangan Nusselt, penurunan tekanan, faktor gesekan, efektifnes dan unjuk kerja termal tertinggi. Bilangan Nusselt rata-rata pipa dalam (Nu_i) dengan penambahan L-T dan T-W with B-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut meningkat dalam kisaran 12% - 21%; 132% - 149%; 105% - 135%; dan 84% - 104% dibandingkan dengan *plain tube*. Bilangan Nusselt rata-rata pipa dalam (Nu_i) dengan penambahan L-T dan T-W with B-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut meningkat dalam kisaran 12% - 21%; 73% - 96%; 106% - 140%; dan 132% - 149% dibandingkan dengan *plain tube*. Faktor gesekan rata-rata pipa dalam dengan penambahan sisipan L-T dan T-W with B-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut meningkat 2,39; 9,58; 7,18; dan 5,59 kali lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube*. Faktor gesekan rata-rata di pipa dalam dengan penambahan sisipan L-T dan T-W with B-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut meningkat 2,39; 6,83; 8,34; dan 9,58 kali lebih besar dibandingkan faktor gesekan *plain tube*. Unjuk kerja termal penukar kalor dengan penambahan sisipan LT dan T-W with B-Wing dengan $P/W = 1,18$; 1,42; dan 1,65 berturut-turut dalam kisaran 0.66-0.86, 0.88-1.11, 0.85-0.95, dan 0.80-0.88. Unjuk kerja termal penukar kalor dengan penambahan sisipan T-W with B-Wing dengan $w/W = 0,31$; 0,47; dan 0,63 berturut-turut dalam kisaran 0.75-0.90, 0.82-0.97, dan 0.88-1.11

Kata kunci : *backward wing*, bilangan Nusselt, *delta wing*, *wing pitch ratio*, *wing width ratio*

Effect of Wing Pitch Ratio and Wing Width Ratio on The Characteristics of Heat Transfer and Friction Factor in A Concentric Tube Heat Exchanger Fitted With The Double Sided Delta Wing Tape Insert With Backward Wing Arrangement

Himmawan Sabda Maulana

Mechanical Engineering Departement
Engineering Faculty Sebelas Maret University
Surakarta, Indonesia
E-mail : himmawan_maulana@yahoo.com

Abstract

This study was conducted to examine the effect of wing-pitch ratio (P/W) and wing-width ratio (w/W) on the characteristics of heat transfer and friction factor in a concentric tube heat exchanger fitted with the double-sided delta wing tape insert with backward-wing arrangement (T-W with B-Wing). In this study, P/W was varied by 1.18, 1.42, and 1.65, while the w/W varied by 0.31, 0.47, and 0.63. The double sided delta wing tape insert was a modification of the longitudinal tape insert (L-T) with the addition of delta wings on either side of the tape alternating as vortex generators to increase the convection heat transfer coefficient. For comparison, in this study also tested heat exchanger without insert (plain tube) and with the addition of the L-T. The working fluid in the inner tube was hot water and in the annulus was cold water, with the flows direction were counter flow. Tests were conducted at a Reynolds number (Re) 5300-14,500. The study results showed that the use of insert the T-W with B-Wing, increasing the Nusselt number (Nu), friction factor (f) and thermal performance (η) as compared with the use of the L-T. Characteristics of heat transfer, friction factor and thermal performance of the heat exchanger with the use of insert the T-W with the B-Wing increased with a decrease in the value of the P/W and the increase in the value of w/W . The heat exchanger with the addition of the T-W with B-Wing with a value of $P/W = 1.18$ and the value of $w/W = 0.63$ produced the Nusselt number, pressure drop, friction factor, effectiveness and the highest thermal performance. The average Nusselt number in the inner tube (Nu_i) with the addition of the L-T and the T-W with B-Wing with $P/W = 1.18, 1.42, \text{ and } 1.65$ increased in the range of 12% - 21%, 132% - 149%, 105% - 135%, and 84% - 104% compared to the plain tube, respectively. The average Nusselt number in the inner tube (Nu_i) with the addition of the L-T and the T-W with B-Wing with $w/W = 0.31, 0.47, \text{ and } 0.63$ increased in the range of 12% - 21%, 73% - 96%, 106% - 140%, and 132% - 149% compared to the plain tube, respectively. The average friction factor in the inner tube with the addition of the L-T and the T-W with B-Wing with $P/W = 1.18, 1.42, \text{ and } 1.65$ increased 2.39, 9.58, 7.18, and 5.59 times greater than the friction factor of plain tube, respectively. The average friction factor in the inner tube with the addition of the L-T and the T-W with B-Wing with $w/W = 0.31, 0.47, \text{ and } 0.63$ increased 2.39, 6.83, 8.34, and 9.58 times greater than the friction factor of plain tube, respectively. Thermal performance of the heat exchanger with the addition of the L-T and the T-W with B-Wing with $P/W = 1.18, 1.42, \text{ and } 1.65$ in the range of 0.66-0.86, 0.88-1.11, 0.85-0.95, and 0.80-0.88, respectively. Thermal performance of the heat exchanger with the addition of the T-W with B-Wing with $w/W = 0.31, 0.47, \text{ and } 0.63$ in the range of 0.75-0.90, 0.82-0.97, and 0.88-1.11, respectively.

Keywords : backward wing, delta wing, Nusselt number, wing pitch ratio, wing width 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 DeltaWing Tape Insert* Susunan *Backward 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 Eko PB., ST., MT, dan bapak Dr.Eng., Syamsul Hadi ST., MT. selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberi saran yang membangun.
5. Bapak Wijang Wisnu R., ST, MT, dan 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 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.
8. Ayah saya Husnul Khuluq, ibu saya Islahiyah, adik saya Saila, Ilya, Ridwanullah dan segenap keluarga yang telah memberikan do’a restu, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.

9. Teman-teman Skripsi *Heat Exchanger*, Wisnu, Dito, Arifad, Novita dan Eki yang telah menemani penulis baik dalam keadaan suka maupun duka.
10. Teman-teman teknik mesin angkatan 2007 terutama Dimas, Mamung, Fajar, Condro, Wahid, dan Faiz yang menemani perjuangan sampai akhir beserta kakak dan adik angkatan di teknik mesin UNS.
11. Para sahabat “9 Matahari” Fitrianto, Nauval, Hanif, Citra, Anien, Festya, Meity, dan Sintia.
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	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Persamaan	xviii
Daftar Notasi	xxi
Daftar Lampiran	xxiv
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.....	11
2.2.1. Dasar perpindahan panas.....	11
2.2.2. Aliran dalam sebuah pipa (<i>internal flow in tube</i>).....	12
2.2.2.1. Kondisi aliran.....	12
2.2.2.2. Kecepatan rata-rata (<i>mean velocity</i>).....	14
2.2.2.3. Temperatur rata-rata	14
2.2.3. Lapis Batas (Boundary Layer).....	15
Lapis Batas Kecepatan (<i>Velocity Boundary layer</i>).....	15

Lapis Batas Termal (<i>Thermal Boundary Layer</i>).....	18
2.2.4. Penukar Kalor	21
2.2.5. Parameter Tanpa Dimensi	25
Teknik Peningkatan Perpindahan Panas Pada Penukar Kalor	26
2.2.6.1. Vortex Generator.....	28
2.2.6.2. Longitudinal Tape Insert.....	32
Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan	33
Korelasi Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan di Daerah Aliran Laminar dan Turbulen Melalui Sebuah Pipa Bulat Halus	33
Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik	35
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat Penelitian	45
3.2. Bahan Penelitian	45
3.3. Skema Alat Penelitian	45
3.4. Alat dan Instrumentasi Penelitian.....	48
3.5. Diagram Alir Penelitian	58
3.6. Prosedur Penelitian	59
3.6.1. Tahap persiapan	59
Pengujian penukar kalor tanpa <i>tape insert (plain tube)</i>	59
Pengujian penukar kalor dengantape <i>insert</i>	60
3.7. Metode Analisis Data.....	61
BAB IV DATA DAN ANALISIS	
4.1. Data Hasil Pengujian	63
4.2. Perhitungan Data	63
Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM pada variasi tanpa <i>tape</i> <i>insert (plain tube)</i>	64
Contoh perhitungan untuk data pengujian dengan laju aliran volumetrik 3,0 LPM pada variasi <i>longitudinal</i> <i>tape insert</i>	70

4.2.3. Perhitungan Unjuk Kerja Termal.....	80
4.2.3.1. Contoh Perhitungan Unjuk Kerja Termal Pada T-W with B-Wing Variasi P/W dan w/W	80
4.3. Analisis Data	89
Validasi Karakteristik Perpindahan Panas Plain Tube	89
Validasi Karakteristik Faktor Gesekan Plain Tube	90
Pengaruh Wing Pitch Ratio dari T-W with B-Wing	91
Pengaruh Wing Pitch Ratio Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	91
Pengaruh Wing Pitch Ratio Terhadap Karakteristik Faktor Gesekan Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	93
Pengaruh Wing Pitch Ratio Terhadap Karakteristik Efektivenes Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	95
Pengaruh Wing Pitch Ratio Terhadap Karakteristik Unjuk Kerja Termal Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	97
Pengaruh Wing Width Ratio dari T-W with B-Wing	98
Pengaruh Wing Width Ratio Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	98
Pengaruh Wing Width Ratio Terhadap Karakteristik Faktor Gesekan Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	100
Pengaruh Wing Width Ratio Terhadap Karakteristik Efektivenes Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	102
4.3.3.4. Pengaruh Wing Width Ratio Terhadap Karakteristik Unjuk Kerja Termal Penukar Kalor Dengan Penambahan T-W with B-Wing	104

BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	106
5.2. Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	110

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Tabel hasil perhitungan karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan <i>plain tube</i>	75
Tabel 4.2. Tabel hasil perhitungan karakteristik perpindahan panas dan faktor gesekan pipa dalam dengan penambahan L-T dan T-W with B-Wing	76
Tabel 4.3. Tabel hasil perhitungan daya pemompaan <i>plain tube</i> dan pipa dengan sisipan L-T dan T-W with B-Wing	79
Tabel 4.4. Tabel rekapitulasi perhitungan nilai unjuk kerja termal untuk L-T dan T-W with B-Wing variasi $P/W = 1,18; 1,42$ dan $1,65$	87
Tabel 4.5. Tabel rekapitulasi perhitungan nilai unjuk kerja termal untuk L-T dan T-W with B-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.....	15
Gambar 2.5. Ketebalan lapis batas kecepatan	16
Gambar 2.6. Lapis batas termal di atas plat datar (permukaan plat lebih panas daripada fluida)	18
Gambar 2.7. Lapis batas termal di atas plat datar (fluida lebih panas daripada permukaan plat).....	18
Gambar 2.8. Fluk panas pada permukaan plat datar	19
Gambar 2.9. Lapis batas termal fluida dingin melalui plat panas	20
Gambar 2.10. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor searah	21
Gambar 2.11. (a) arah aliran fluida, dan (b) perubahan temperatur fluida pada penukar kalor berlawanan arah	22
Gambar 2.12. Penukar kalor pipa konsentrik	23
Gambar 2.13. Analogi listrik untuk perpindahan panas pada penukar kalor pipa konsentrik.....	24
Gambar 2.14. <i>Streamwise vortices</i>	29
Gambar 2.15. Pembangkitan vorteks longitudinal menggunakan <i>rectangular winglet</i>	29
Gambar 2.16. <i>Vortex generators</i> berupa <i>wing</i> dan <i>winglet</i> ($b = \text{wing span}$, $c = \text{wing cord}$, $\alpha = \text{sudut serang/angle of attack}$)	31
Gambar 2.17. Penyisipan <i>longitudinal tape insert</i> dalam sebuah pipa bulat.....	32
Gambar 2.18. Pola aliran berupa sel-sel vorteks yang simetris yang dihasilkan <i>longitudinal tape insert</i> pada $Re = 100$	33
Gambar 2.19. <i>Efektivenes</i> penukar kalor pipa ganda aliran berlawanan arah.....	36

Gambar 3.1.	Skema pengujian penukar kalor pipa konsentrik dengan <i>double sided delta wing tape insert</i> susunan <i>backward wing</i>	45
Gambar 3.2.	Gambar alat penelitian; (1) penukar kalor pipa konsentrik, (2) tangki air panas, (3) tangki air dingin, (4) rotameter, (5) manometer pipa-U, (6) <i>thermocontroller</i> , (7) MCB pompa air panas dan dingin, (8) penjebak air, (9) <i>thermocouple reader</i> , (10) pompa air panas, (11) pompa air dingin	46
Gambar 3.3.	Skema pengukuran temperatur di penukar kalor	47
Gambar 3.4.	Skema penukar kalor pipa konsentrik satu laluan dengan <i>double sided delta wing tape insert</i>	49
Gambar 3.5.	Penukar kalor pipa konsentrik satu laluan.....	49
Gambar 3.6.	Nomenklatur <i>double sided wing tape insert</i> (T-W)	51
Gambar 3.7.	Skema <i>double-sided delta wing tape insert</i> di pipa dalam dengan susunan <i>backward wing</i> (T-W with B-wing)	51
Gambar 3.8.	Longitudinal tape insert	51
Gambar 3.9.	<i>Double sided delta wing tape insert</i> variasi <i>wing-pitch ratio</i> (P/W) pada $w/W = 0,63, l = 8 \text{ mm}$ dan $\alpha = 45^\circ$	52
Gambar 3.10.	<i>Double sided delta wing tape insert</i> variasi <i>wing-width ratio</i> (w/W) pada $P/W = 1,18, l = 8 \text{ mm}$ dan $\alpha = 45^\circ$	52
Gambar 3.11.	(a) Gambar detail <i>flange</i> , (b) <i>flange</i> setelah dilakukan proses pembubutan	53
Gambar 3.12.	Skema pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar di <i>inner tube</i> dan di <i>annulus</i>	54
Gambar 3.13.	Skema pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur dinding luar pipa dalam	54
Gambar 3.14.	<i>Thermocouple reader</i>	54
Gambar 3.15.	<i>Temperature controller</i>	55
Gambar 3.16.	Pemanas air elektrik	55
Gambar 3.17.	Rotameter.....	56
Gambar 3.18.	Penjebak air.....	56
Gambar 4.1.	Skema pipa dalam dan pipa luar penukar kalor pipa konsentrik ..	64
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 W_{pump} variasi P/W	83
Gambar 4.5.	Grafik hubungan antara h_i dengan W_{pump} variasi w/W	84
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	90
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	96
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	99
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	12
Persamaan (2.2)	Diameter hidrolis	13
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.....	14
Persamaan (2.7)	Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida	15
Persamaan (2.8)	Tegangan geser.....	16
Persamaan (2.9)	Bilangan Reynolds pada jarak (x) tertentu dari tepi depan.....	17
Persamaan (2.10)	Fluks panas permukaan lokal.....	19
Persamaan (2.11)	Fluks perpindahan panas konveksi.....	19
Persamaan (2.12)	Kombinasi persamaan fluks (2.10) dengan persamaan (2.11)	19
Persamaan (2.13)	Koefisien perpindahan panas	20
Persamaan (2.14)	Bilangan Nusselt pada dimensi karakteristik benda (L) tertentu.....	20
Persamaan (2.15)	Bilangan Nusselt pada sepanjang permukaan plat datar	20
Persamaan (2.16)	Bilangan Nusselt pada dimensi karakteristik benda (L) tertentu.....	20
Persamaan (2.17)	Laju perpindahan panas di <i>annulus</i>	22
Persamaan (2.18)	Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam.....	22
Persamaan (2.19)	Laju perpindahan panas	23
Persamaan (2.20)	Beda temperatur rata-rata logaritmik.....	23
Persamaan (2.21)	Tahanan termal total pada penukar kalor konsentrik .	24
Persamaan (2.22)	Laju perpindahan panas antara dua fluida	25
Persamaan (2.23)	Koefisien perpindahan panas <i>overall</i>	25
Persamaan (2.24)	Bilangan Reynolds	25
Persamaan (2.25)	Bilangan Prantl.....	26
Persamaan (2.26)	Bilangan Nusselt	26

Persamaan (2.27) Bilangan Nusselt dibawah kondisi temperatur dinding yang konstan	33
Persamaan (2.28) Faktor gesekan Darcy.....	33
Persamaan (2.29) Faktor gesekan dengan persamaan Petukhov	33
Persamaan (2.30) Bilangan Nusselt dengan persamaan Dittus-Boelter..	33
Persamaan (2.31) Bilangan Nusselt dengan persamaan Pethukov	34
Persamaan (2.32) Bilangan Nusselt dengan persamaan Gnielinski.....	34
Persamaan (2.33) Faktor gesekan dengan persamaan Colebrook.....	34
Persamaan (2.34) Faktor gesekan dengan iterasi tunggal	35
Persamaan (2.35) Faktor gesekan dengan persamaan Blasius.....	35
Persamaan (2.36) Laju perpindahan panas dari fluida panas di dalam pipa dalam.....	35
Persamaan (2.37) Laju perpindahan panas dari fluida dingin di <i>annulus</i>	36
Persamaan (2.38) Rata-rata temperatur dinding luar pipa dalam	36
Persamaan (2.39) Temperatur <i>bulk</i> rata-rata fluida dingin di <i>annulus</i>	36
Persamaan (2.40) Ketidak seimbangan panas.....	36
Persamaan (2.41) Persentase kesalahan keseimbangan energi.....	36
Persamaan (2.42) Koefisien perpindahan panas rata-rata di <i>annulus</i>	37
Persamaan (2.43) Bilangan Nusselt rata-rata di sisi <i>annulus</i>	37
Persamaan (2.44) Laju perpindahan panas di dalam pipa dalam.....	37
Persamaan (2.45) Nilai beda temperatur rata-rata logaritmik	37
Persamaan (2.46) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i>	38
Persamaan (2.47) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> penjabaran persamaan (2.44).....	38
Persamaan (2.48) Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> penjabaran persamaan (2.45).....	38
Persamaan (2.49) Koefisien perpindahan panas rata-rata di sisi pipa dalam	38
Persamaan (2.50) Bilangan Nusselt rata-rata pada sisi pipa dalam	38
Persamaan (2.51) Bilangan Reynolds	38
Persamaan (2.52) Bilangan Reynolds	38
Persamaan (2.53) Laju kapasitas panas fluida panas	39
Persamaan (2.54) Laju kapasitas panas fluida dingin	39
Persamaan (2.55) Laju perpindahan panas fluida panas	39
Persamaan (2.56) Laju perpindahan panas fluida dingin	39

Persamaan (2.57) Efektivitas penukar kalor	40
Persamaan (2.58) Laju perpindahan panas aktual dalam sebuah penukar kalor.....	40
Persamaan (2.59) Perbedaan temperatur maksimum	40
Persamaan (2.60) laju perpindahan panas maksimum	40
Persamaan (2.61) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil	40
Persamaan (2.62) Nilai laju kapasitas panas yang lebih kecil	40
Persamaan (2.63) Laju kapasitas panas aktual.....	40
Persamaan (2.64) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah.....	41
Persamaan (2.65) <i>Number of transfer units</i>	41
Persamaan (2.66) Rasio kapasitas.....	41
Persamaan (2.67) Korelasi efektivitas penukar kalor pipa konsentrik aliran berlawanan arah.....	41
Persamaan (2.68) Penurunan tekanan untuk semua jenis <i>internal flow</i> ..	42
Persamaan (2.69) Penurunan tekanan	42
Persamaan (2.70) Faktor gesekan	42
Persamaan (2.71) Daya pemompaan.....	43
Persamaan (2.72) Daya pemompaan konstan.....	43
Persamaan (2.73) Hubungan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds	43
Persamaan (2.74) Unjuk kerja termal.....	43

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)
AR	= Aspek rasio	
B-wing	= <i>Backward wing</i>	
$C_{p,c}$	= Panas jenis fluida dingin di <i>annulus</i>	($kJ/kg \cdot ^\circ C$)
$C_{p,h}$	= Panas jenis fluida panas di dalam pipa dalam	($kJ/kg \cdot ^\circ C$)
d_i	= Diameter dalam pipa dalam	(m)
d_o	= Diameter luar pipa dalam	(m)
D_h	= Diameter hidrolis <i>annulus</i>	(m)
D_i	= Diameter dalam pipa luar	(m)
D_o	= Diameter luar pipa luar	(m)
D_h	= Diameter hidrolis <i>annulus</i>	(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>	($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
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	= Panjang pipa dalam	(m)
L_t	= Panjang jarak titik pengukuran beda tekanan di pipa dalam	(m)
L-T	= <i>Longitudinal tape insert</i>	
l	= Tinggi sayap (<i>wing cord</i>)	(mm)
\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>Wing pitch</i>	(mm)
p	= <i>Plain tube</i> (pipa tanpa <i>tape insert</i>)	
pp	= Daya pemompaan konstan	
Pr	= Bilangan Prandtl	
P/W	= <i>Wing pitch ratio</i>	
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 strip <i>tape insert</i>	(mm)
$T_{c,i}$	= 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)
$T_{w,i}$	= Temperatur rata-rata dinding dalam pipa dalam	(°C)
$T_{w,o}$	= 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 .°C)
u_m	= Kecepatan rata-rata fluida	(m/s)
s	= <i>Swirl generator</i> (pipa dengan <i>tape insert</i>)	
U_i	= Koefisien perpindahan panas overall berdasarkan permukaan dalam pipa dalam	(W/m ² .°C)
ν	= Viskositas kinematis fluida di pipa dalam	(m ² /s)
V	= Kecepatan rata-rata fluida di pipa dalam	(m/s)
w/W	= <i>wing width ratio</i>	
w	= Lebar sayap (<i>wing width</i>)	(mm)
W	= Lebar strip <i>tape insert</i> (<i>tape width</i>)	(mm)
\dot{v}	= Laju aliran volumetrik fluida di pipa dalam	(m ³ /s)
α	= <i>Angle of attack</i>	(°)

ε	= Efektivenes	
Δh	= Beda ketinggian fluida manometer	(m)
ΔP	= Penurunan tekanan di pipa dalam	(Pa)
ΔT_1	= Perbedaan temperatur antara dua fluida pada sisi <i>inlet</i> 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>logarithmic 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)
η	= Efisiensi peningkatan perpindahan panas	
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)

DAFTARLAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data hasil eksperimen.....	110
Lampiran B. Data hasil pengujian variasi laju aliran volumetrik air panas di pipa dalam	149
Lampiran C. Tabel konduktivitas termal material.....	157
Lampiran D. Properties air.....	158